4132

GHERMAN DRĂGHICI

TEHNOLOGIA CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI

15234

EDITURA DIDACTICĂ
ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI – 1984

Scanned with OKEN Scanner

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

Prof. dr. ing. GHERMAN DRĂGHICI

TEHNOLOGIA CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI

BIBLIOTECA TEHNICĂ
UZINA
№ 15234

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ — BUCUREȘTI

Scanned with OKEN Scanner

PREFAȚĂ

De la apariția primei ediții a acestui curs (1977), pînă în prezent, au apărut în literatura de specialitate un număr impresionant de lucrări științifice, prin care s-au completat diverse legi și teorii sau au fost descoperite altele noi, legate de prelucrarea pieselor de mașini prin diverse procedee clasice sau moderne, care conduc la creșterea productivității, la reducerea cheltuielilor de producție, la ridicarea calității produselor și la îmbunătățirea condițiilor de muncă. Au apărut numeroase mașini-unelte noi de înaltă productivitate și precizie de prelucrare. S-au perfecționat tipurile de mașini-unelte cu comandă numerică, cele prevăzute cu microprocesoare, centrele de prelucrare, liniile tehnologice automate conduse centralizat de calculatoare electronice. S-au înmulțit numărul și generațiile calculatoarelor electronice, care sînt tot mai utilizate și în activitatea inginerilor tehnologi.

Toate aceste realizări noi trebuie să fie cunoscute de studenți, de viitorii și actualii ingineri pentru a le aplica în producție, pentru a le completa și perfecționa, pentru a contribui la ridicarea nivelului tehnico-științific al întreprinderilor noastre, la perfecționarea și modernizarea tehnologiilor aplicate.

Evoluția deosebită a progresului tehnico-științific în domeniul tehnologiei construcțiilor de mașini, atît pe plan mondial cît și în țara noastră, a impus actuala ediție a cursului de Tehnologia construcțiilor de mașini.

În prima parte, Bazele teoretice ale tehnologiei construcțiilor de mașini, *cu o structură diferită de a ediției precedente, este prezentată o metodă nouă, originală, de proiectare a proceselor tehnologice de prelucrare a pieselor de mașini. Metoda constă în utilizarea proceselor tehnologice optime tipizate de prelucrare a pieselor reprezentative a claselor sau a grupelor de piese, pentru proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare a pieselor din componența claselor sau a grupelor respective.*

Se prezintă metoda de proiectare a proceselor tehnologice optime tipizate de prelucrare a pieselor reprezentative a claselor sau a grupelor de piese, precum și metoda de selectare a operațiilor proceselor tehnologice de prelucrare a pieselor din componența claselor sau a grupelor de piese.

Tot în această parte a cursului se prezintă metode și algoritmi noi de calcul, manual sau cu ajutorul calculatorului electronic, a regimurilor optime de așchiere, pentru care se dau studenților și schemele logice de calcul.

În partea a doua, Tehnologia de prelucrare a pieselor de mașini, *se prezintă, sub formă de fișe tehnologice, procesele tehnologice optime tipizate pentru piesele reprezentative ale claselor principale de piese.*

Sînt prezentate cu amănuntele necesare, pentru a putea fi aplicate în producție, cele mai moderne procedee și metode tehnologice de prelucrare, atît pe mașini-unelte clasice cît și pe mașini-unelte cu comandă numerică.

Scanned with OKEN Scanner

Acest curs este util şi studenţilor de la alte facultăţi şi secţii de specialitate cu caracter tehnic, precum şi cercetătorilor ştiinţifici din institute de proiectare şi cercetare în domeniul tehnologiei construcţiilor de maşini, precum şi inginerilor şi tehnicienilor din întreprinderile constructoare de maşini.

Mulţumesc pe această cale colaboratorilor noştri: şef lucr. dr. ing. Constantin Buzatu, şef lucr. ing. Ivan Piukovici, asistenţi ing. Dan Tiţei, Anişor Nedelcu şi Ion Marcu, pentru contribuţia şi ajutorul dat la pregătirea acestui curs.

Exprim de asemenea sincere şi elogioase consideraţii colegilor din catedrele de specialitate din celelalte centre universitare din ţară, din a căror lucrări m-am inspirat şi mulţumesc anticipat tuturor celor care îşi vor opri atenţia, în mod constructiv, asupra lucrării, contribuind astfel la îmbunătăţirea ei, la ridicarea continuă a pregătirii profesionale şi ştiinţifice a viitorilor ingineri TCM-işti

Autorul

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINS

Prefață 3

PARTEA ÎNTÎI. **Bazele teoretice ale proiectării proceselor tehnologice** 9

Capitolul 1. *Noțiuni generale* 10

1.1. Procese de producție, procese tehnologice și elementele lor componente 10

1.2. Tipurile de producție în construcția de mașini 13

Capitolul 2. *Principiul de bază al proiectării proceselor tehnologice optime de prelucrare a pieselor în industria constructoare de mașini* 16

2.1. Algoritmul de proiectare a procesului tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative a clasei sau grupei de piese 16

2.2. Algoritmul de proiectare a procesului tehnologic optim de prelucrare a unei piese din componența unei clase sau grupe de piese 17

Capitolul 3. *Algoritmul de proiectare a procesului tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative a clasei sau a grupei de piese* 19

3.1. Alegerea sau proiectarea piesei reprezentative a unei clase sau grupe de piese 20

3.2. Codificarea suprafețelor elementare ale piesei reprezentative 20

3.3. Determinarea succesiunii optime a suprafețelor elementare ale piesei reprezentative în vederea prelucrării lor 20

3.3.1. Alegerea bazelor tehnologice și de măsurare 21

3.3.2. Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească baza de așezare 27

3.3.3. Algoritmul DM 28

3.4. Prescrierea procedeelor și a metodelor tehnologice de prelucrare posibile de aplicat pentru prelucrarea suprafețelor elementare ale piesei reprezentative a grupei de piese 33

3.5. Determinarea succesiunii optime a procedeelor sau a metodelor tehnologice de prelucrare a suprafețelor elementare ale piesei reprezentative pentru a obține din semifabricat piesa finită 34

3.5.1. Algoritmul 1 pentru determinarea variantelor de succesiune de procedee sau metode tehnologice de prelucrare a suprafețelor elementare a piesei reprezentative, funcție de toleranța și rugozitatea prescrisă pe desenul de execuție al piesei 34

3.5.2. Algoritmul 2 pentru determinarea variantelor de succesiune de procedee sau metode tehnologice de prelucrare a suprafețelor elementare ale piesei reprezentative, funcție de toleranța și rugozitatea economică 42

3.6. Alegerea utilajului și a echipamentului tehnologic necesar, pentru fiecare procedeu sau metodă tehnologică de prelucrare prescrisă

Scanned with OKEN Scanner

pentru prelucrarea suprafeţelor elementare ale piesei reprezentative 45
3.6.1. Determinarea domeniului de utilizare economică a maşinilor-unelte universale clasice şi a celor cu comandă numerică (CN) 45
3.6.2. Determinarea domeniului de utilizare economică a strungurilor semiautomate multicuţite cu un ax şi a celor de copiat 48
3.7. Prescrierea regimului de aşchiere pentru prelucrarea suprafeţelor elementare ale piesei reprezentative, pentru fiecare procedeu sau metodă tehnologică de prelucrare, prescrisă în etapa precedentă 57
3.7.1. Metodă rapidă de calcul a regimului de aşchiere din normative 58
3.8. Calculul normei tehnice de timp şi a normei tehnice de prelucrare 64
3.9. Calculul unui minut-maşină pentru fiecare procedeu sau metodă tehnologică de prelucrare 71
3.10. Calculul costurilor parţiale şi a costului total de prelucrare, la o operaţie, pe un anumit utilaj, cu SDV-urile aferente, pentru fiecare procedeu sau metodă tehnologică de prelucrare 72
3.11. Algoritmul DM2 pentru determinarea variantei optime a procesului tehnologic tipizat de prelucrare a piesei reprezentative şi a următoarelor 2—3 variante 77
Capitolul 4. *Algoritmul de proiectare a procesului tehnologic optim de prelucrare a unei piese oarecare din componenţa clasei sau a grupei de piese* 81
4.1. Identificarea clasei sau a grupei de piese în care poate fi inclusă piesa oarecare 81
4.2. Selectarea procesului tehnologic de prelucrare a piesei oarecare din procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative a clasei sau a grupei de piese 81
4.3. Reoptimizarea procesului tehnologic de prelucrare selectat 82
4.3.1. Calculul adaosului de prelucrare şi a dimensiunilor intermediare 82
4.3.2. Calculul regimului optim de aşchiere după metoda bazată pe teoria programării matematice 104
4.3.3. Calculul regimului optim de aşchiere şi a variantei economice de prelucrare pe strunguri revolver şi automate, cu mai multe scule simultan 119
4.3.4 Calculul regimului optim de aşchiere la burghierea cu cap multiax 129
4.3.5. Rezolvarea modelului matematic 135
4.3.6. Calculul preciziei de prelucrare, respectiv a erorii totale de prelucrare 156
4.3.7. Calculul erorii totale de prelucrare 231
4.3.8. Calculul mărimii abaterilor microgeometrice de calitate ale suprafeţei prelucrate 238
4.3.9. Sincronizarea operaţiilor şi calculul coeficientului de încărcare a utilajului şi de ocupaţie a muncitorului. Întocmirea schemei liniei tehnologice 246
Capitolul 5. *Căi care conduc la mărirea productivităţii şi la reducerea costului* 252
5.1. Căi care conduc la mărirea productivităţii muncii 252
5.1.1. Ridicarea rigidităţii sistemului tehnologic *MUPS* 265
5.1.2. Utilizarea maşinilor-unelte de mare productivitate 266

Scanned with OKEN Scanner

5.1.3. Prelucrarea pe mașini-unelte cu comandă numerică 272
5.1.4. Prelucrarea pe strunguri automate 284
5.2. Căi care conduc la reducerea costului 303
5.2.1. Prelucrarea cu toleranțe mărite, aplicînd metoda interschimbabilității parțiale 308
5.2.2. Prelucrarea cu toleranțe mărite, aplicînd metoda interschimbabilității de grup (selectivă) 314
5.2.3. Prelucrarea pieselor după principiul tehnologiei de grup .. 319
Capitolul 6. *Proiectarea automată a proceselor tehnologice* 329
6.1. Program general cu rezolvare algoritmică pentru proiectarea automată a proceselor tehnologice 330
6.1.1. Proiectarea proceselor tehnologice optime de prelucrare a pieselor în construcția de mașini cu ajutorul calculatorului electronic, folosind procesele tehnologice optime tipizate ale pieselor reprezentative ale grupelor respective 332
PARTEA A DOUA. **Tehnologia de prelucrare a pieselor de mașini** 335
Capitolul 7. *Tehnologia de prelucrare a pieselor din clasa arbori* 336
7.1. Procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a arborilor 336
7.1.1. Analiza operațiilor din procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a arborilor 336
Capitolul 8. *Procese tehnologice de prelucrare a pieselor din clasa „bucșe"* 437
8.1. Forme constructive caracteristice de piese din clasa bucșe, condiții tehnice impuse la prelucrare, semifabricate 437
8.2. Probleme legate de prelucrarea suprafețelor interioare a bucșelor .. 439
8.3. Procesele tehnologice optime tipizate de prelucrare a pieselor din clasa bucșe 442
8.4. Analiza operațiilor din procesele tehnologice optime tipizate de prelucrare a pieselor din clasa „bucșe" 442
8.4.1. Prelucrarea suprafețelor exterioare, interioare și frontale a bucșelor 442
8.4.2. Prelucrarea suprafețelor interioare a bucșelor 453
8.4.3. Prelucrarea găurilor adînci 482
8.4.4. Prelucrarea de finisare a alezajelor cu diametrul mare 487
Capitolul 9. *Procese tehnologice de prelucrare a pieselor din clasa „corpuri complexe"* 480
9.1. Scheme și metode de prelucrare a alezajelor de bază în piesele din clasa „corpuri complexe" 494
9.2. Prelucrarea alezajelor pe mașini de burghiat și alezat în coordonate .. 497
9.3. Prelucrarea alezajelor în piese fixate în dispozitive cu bucșe de conducere 500
9.4. Procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a batiurilor, coloanelor și a sănilor de mașini-unelte 507
9.4.1. Analiza operațiilor procesului tehnologic optim tipizat de prelucrare a batiurilor 509
9.5. Prelucrarea suprafețelor plane prin frezare cu mai multe freze simultan 536
9.5.1. Calculul unghiurilor optime de deplasare a frezelor una față de alta 536
9.5.2. Eficacitatea frezării cu un complet de freze fixate deplasat una față de alta 542
Capitolul 10. *Tehnologia de prelucrare a pieselor din clasa „piese cu suprafețe de revoluție și cu mai multe axe de simetrie paralele* ....." 546

Scanned with OKEN Scanner

10.1. Prelucrarea prin strunjire a suprafețelor excentrice ale arborilor 546
10.2. Prelucrarea arborilor cotiți 550

Capitolul 11. *Procese tehnologice de prelucrare a pieselor din clasa „piese de revoluție cu axe care se intersectează"* 558
11.1. Piesele reprezentative ale acestei clase 558
11.2. Condițiile tehnice impuse și procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a crucii diferențialului 558
11.3. Condițiile tehnice impuse și procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a pistoanelor 559
11.3.1. Condițiile tehnice impuse 559
11.3.2. Procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a pistoanelor și analiza operațiilor 561

Capitolul 12. *Procese tehnologice de prelucrare a pieselor din clasa „pîrghii și furci"* .. 565
12.1. Condițiile tehnice impuse pieselor din această clasă 565
12.2. Procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a pîrghiilor 566
12.2.1. Analiza operațiilor din procesul tehnologic optim tipizat .. 567
12.3. Procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a furcilor plane .. 574

Capitolul 13. *Procese tehnologice de prelucrare a pieselor din clasa „came plane și spațiale"* 579
13.1. Procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a camelor 579
13.1.1. Analiza operațiilor din procesul tehnologic optim tipizat .. 580

Capitolul 14. *Procese tehnologice de prelucrare a pieselor din clasa „piese cu profil complex în spațiu"* 612
14.1. Prelucrarea prin scîntei electrice a profilului matrițelor: ... 612
14.2. Prelucrarea cu ajutorul ultrasunetelor a profilului matrițelor .. 614
14.3. Prelucrarea pe cale electrochimică a suprafețelor cu profil complex în spațiu 619

Capitolul 15. *Procese tehnologice optime de prelucrare a pieselor din clasa „roți dințate"* 624
15.1. Roți dințate caracteristice care constituie clasa respectivă 624
15.2. Procese tehnologice optime tipizate de prelucrare a roților dințate reprezentative a grupelor de piese 628
15.3. Analiza operațiilor procesului tehnologic optim tipizat de prelucrare a roților dințate reprezentative a grupelor de piese 628
15.3.1. Frezarea danturii roților dințate cilindrice cu dinți drepți și înclinați prin rulare 633
15.3.2. Frezarea „în diagonală" a danturii roților dințate cilindrice cu dinți drepți și înclinați 634
15.3.3. Broșarea danturii roților dințate cilindrice cu dinți drepți 636
15.3.4. Broșarea danturii roților dințate conice cu dinți drepți .. 637
15.3.5. Prelucrarea danturii roților dințate cilindrice cu dinți drepți prin deformare plastică la rece 640
15.3.6. Prelucrarea de finisare a danturii 645

Capitolul 16. *Bazele tehnologiei asamblării în construcția de mașini* 670
16.1. Formele organizatorice ale tehnologiei asamblării 671
16.2. Algoritmul elaborării proceselor tehnologice de asamblare .. 673

Bibliografie 679

Scanned with OKEN Scanner

Partea întîi

BAZELE TEORETICE ALE PROIECTĂRII PROCESELOR TEHNOLOGICE

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul I

NOȚIUNI GENERALE

1.1. PROCESE DE PRODUCȚIE, PROCESE TEHNOLOGICE ȘI ELEMENTELE LOR COMPONENTE

Procesul de producție al unei uzine constructoare de mașini cuprinde în sine obținerea semifabricatelor (prin turnare, forjare sau debitare din laminate), toate formele de prelucrare a lor (prelucrarea mecanică, termică, chimică, electrică etc.), controlul tehnic al dimensiunilor și al calității în toate stadiile de producție, transportul materialelor, semifabricatelor, pieselor și produselor, asamblarea, vopsirea, împachetarea și expedierea produselor.

Procesul tehnologic de prelucrare mecanică este acea parte a procesului de producție, care este legată nemijlocit de schimbarea formei geometrice, a dimensiunilor, a calităților fizico-mecanice, a calității suprafeței pînă la obținerea piesei finite.

În procesul tehnologic de prelucrare mecanică sînt incluse și o serie de acțiuni auxiliare legate nemijlocit, sau care numai însoțesc schimbarea formei geometrice, a dimensiunilor, a calităților fizico-mecanice, a calității suprafeței piesei supuse prelucrării, ca de exemplu: așezarea și fixarea piesei pe mașină, controlul tehnic, curățirea piesei și a dispozitivului și într-o serie de cazuri și transportul piesei.

În timpul acestor acțiuni auxiliare nu are loc schimbarea formei geometrice, a dimensiunilor și nici a rugozității piesei, însă întrucît aceste acțiuni auxiliare sînt îndeplinite de către muncitorul care lucrează la locul respectiv de muncă, *ele fac parte din procesul tehnologic de prelucrare.*

Transportul piesei prin atelier făcut de către muncitorii auxiliari sau automat, cu diverse sisteme de transportare, *nu intră în procesul tehnologic de prelucrare*, întrucît în acest timp muncitorul productiv lucrează la locul său de muncă.

În mod analog, *procesul tehnologic de asamblare* reprezintă o parte a procesului de producție, legată nemijlocit de asamblarea pieselor în grupe, subansamble, ansamble și apoi în produsul respectiv (automobil, tractor, mașină-unealtă etc.).

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a se putea face asamblarea pieselor în produs este de asemenea necesar a se executa o serie de acțiuni auxiliare, legate nemijlocit de procesul de asamblare (ca de exemplu: fixarea piesei de bază în dispozitivul de asamblare sau pe postament, prinderea în mînă a cheii și așezarea pe șurub pentru înșurubare etc.).

Procesul tehnologic (de prelucrare și de asamblare) se execută la diferite locuri de muncă.

Locul de muncă este acea parte din suprafața de producție care este utilată cu utilajul corespunzător lucrului ce se efectuează pe el.

Elementele componente ale procesului tehnologic sînt următoarele:

Operația este acea parte a procesului tehnologic care se execută la un loc de muncă și cuprinde toate acțiunile utilajului și muncitorului sau ale unui grup de muncitori, în legătură cu prelucrarea sau asamblarea unei piese sau a mai multor piese simultan, pînă ce se trece la prelucrarea sau asamblarea altei sau altor piese.

Fie de exemplu centruirea arborilor. Cînd se centruiesc succesiv sau simultan cele două capete ale unui arbore la un singur loc de muncă, această prelucrare constituie *o operație*. Atunci cînd se centruiește la un loc de muncă numai un capăt al arborilor din lot de către un muncitor, iar la un alt loc de muncă se centruiește celălalt capăt al arborilor de către un alt muncitor, atunci această prelucrare constituie *două operații*.

Operația se poate executa dintr-o singură *așezare* sau din cîteva *așezări* ale piesei în dispozitiv sau pe masa mașinii. În cazul exemplului dat, atunci cînd arborele se centruiește pe rînd la cele două capete cu același regim de așchiere, operația este formată din două așezări. Cînd arborele se centruiește la ambele capete simultan pe o mașină specială, operația este constituită dintr-o singură așezare.

Piesa fixată în dispozitiv poate fi prelucrată în una sau mai multe poziții față de scula sau sculele cu care se face prelucrarea ei. De exemplu, o carcasă fixată într-un dispozitiv rotativ, după burghierea alezajelor de pe una din suprafețele ei, este rotită (fără să fie desprinsă din dispozitiv) într-o nouă poziție pentru a fi executate alezajele de pe o altă suprafață.

O operație poate fi constituită de asemenea din una sau mai multe faze.

Faza este acea parte a operației în care se execută complet dintr-o singură așezare și poziție a piesei o suprafață sau mai multe suprafețe simultan, cu o sculă sau cu un complet de scule, *cu un anumit regim de așchiere*.

Adaosul de prelucrare ce trebuie îndepărtat într-o fază de pe suprafața sau suprafețele piesei (dacă se prelucrează simultan mai multe suprafețe ale piesei) poate fi îndepărtat dintr-o *singură trecere* sau din *mai multe treceri*. La fiecare trecere a sculelor cu care se face prelucrarea de pe suprafața sau suprafețele ce se prelucrează, în sensul avansului, se îndepărtează cîte un strat de material. Toate trecerile se execută *cu același regim de așchiere*. Dacă o trecere se execută cu alt regim de așchiere atunci trecerea devine fază.

Scanned with OKEN Scanner

Faza şi trecerea la rîndul lor sînt formate din una sau mai multe *mînuiri*. Mînuirea reprezintă totalitatea mişcărilor efectuate de muncitor în timpul desfăşurării lucrului sau de pregătirea lui. Mînuirile sînt acţiuni auxiliare pentru aşezarea şi fixarea piesei pe maşină sau dispozitiv, pentru apropierea sculei de piesă, pentru pornirea motorului şi cuplarea avansurilor, precum şi cele executate după prelucrarea piesei.

Mişcarea este partea cea mai mică dintr-o mînuire, care poate fi măsurată în timp.

Pentru efectuarea fiecărei acţiuni (operaţie, fază, trecere, mînuire, mişcare) se consumă o cantitate de muncă din partea muncitorului. Consumul de muncă se măsoară *în timp*.

Timpul consumat de muncitor pentru executarea unui proces tehnologic se numeşte *volum de muncă*.

Există volum de muncă *efectiv*, înţelegînd prin acesta timpul real consumat pentru efectuarea lucrului şi volum de muncă *calculat* sau normat, acesta reprezentînd timpul în care trebuie să se execute lucrul respectiv.

Unitatea de măsură a volumului de muncă se numeşte om-oră.

O maşină-unealtă sau un utilaj oarecare sînt ocupate pentru prelucrarea piesei un anumit timp. Pentru calculul timpului necesar efectuării anumitor prelucrări şi pentru calculul numărului de maşini-unelte necesar prelucrării unei piese la toate operaţiile, se foloseşte noţiunea de volum de maşină.

Volum de maşină se numeşte timpul în decursul căruia maşina-unealtă sau maşinile-unelte sînt ocupate sau trebuie să fie ocupate pentru prelucrarea unei piese la o operaţie sau la toate operaţiile.

Există deci, volum de maşină pe operaţii, volum de maşină pe piesă şi volum de maşină pe produs.

Volumul de maşină poate fi *efectiv* sau *calculat*. Unitatea de măsură a volumului de maşină este de obicei *maşină-unealtă-oră*.

Pentru normarea muncii şi planificarea producţiei se foloseşte norma tehnică de timp (vezi amănunte în capitolul 3.8).

Fiecare operaţie sau proces tehnologic de prelucrare a unei piese sau a produsului întreg se execută într-un anumit *timp calendaristic*.

Intervalul de timp măsurat de la începutul şi pînă la sfîrşitul prelucrării piesei la o operaţie sau la toate operaţiile (care după anumite intervale de timp se repetă) se numeşte *ciclu*. Această noţiune se foloseşte în producţia de serie şi de masă.

Dacă operaţiile sau procesele tehnologice se mai repetă după anumite intervale de timp, intervalul de timp măsurat de la începutul şi pînă la sfîrşitul prelucrării piesei la o operaţie sau la toate operaţiile se numeşte *durata* operaţiei sau a procesului tehnologic (această noţiune, deci, se foloseşte în producţia individuală sau de unicate).

Diferite produse sau piese din produsele respective se confecţionează în diferite cantităţi în unitatea de timp, care poate fi anul, trimestrul sau

Scanned with OKEN Scanner

luna. Cantitatea respectivă de produse sau piese se numeşte *program* sau *plan de producţie* pe durata corespunzătoare.

Cantitatea de produse, piese sau semifabricate care se confecţionează după un desen care nu se modifică, defineşte *mărimea seriei*. Dacă se trece la o construcţie nouă a aceluiaşi produs (tractor, autocamion, strung etc.), piesă sau semifabricat, şi se schimbă desenul, atunci se schimbă şi numărul sau iniţialele seriei.

Ritmul sau *tactul* de fabricaţie sau de livrare reprezintă intervalul de timp, după care periodic are loc livrarea unui produs, piese sau semifabricat, de la o linie tehnologică, dintr-un atelier, secţie sau întreprindere. Dacă se spune, de exemplu, că ritmul sau tactul de fabricaţie sau de livrare a unui tractor este de 5 minute, asta înseamnă, că după fiecare 5 minute la capătul liniei tehnologice de asamblare generală iese un tractor gata pentru livrare.

Cantitatea de piese de acelaşi fel lansată odată în lucru la un loc de muncă sau pe o linie tehnologică se numeşte *lot*. Mărimea lotului de piese se determină prin calcul.

1.2. TIPURILE DE PRODUCŢIE ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI

În industria constructoare de maşini există trei tipuri de producţii şi anume:

— producţie de masă;

— producţie de serie;

— producţie individuală sau de unicate.

În producţia de masă produsele se execută în mod continuu, în cantităţi relativ mari şi într-o perioadă lungă de timp (de obicei de cîţiva ani).

O caracteristică principală a producţiei de masă o constituie nu cantitatea de produse livrate, ci efectuarea la majoritatea locurilor de muncă a aceloraşi operaţii cu repetare continuă.

Producţia fabricaţiei de masă constă din produse de aceeaşi natură (unele standardizate), tipuri stabilizate de largă utilizare. O astfel de producţie este de exemplu, producţia de automobile, tractoare, motoare electrice, rulmenţi etc.

În producţia de serie se execută serii de produse şi loturi de piese, care se repetă cu regularitate după anumite şi bine stabilite perioade de timp.

Producţia de serie este o producţie cu nomenclatură multiplă. *O caracteristică principală a producţiei de serie o constituie repetarea periodică a executării aceloraşi operaţii la majoritatea locurilor de muncă.* Produsele acestui

Scanned with OKEN Scanner

tip de producție sînt *mașini* de tipuri stabilizate, fabricate în cantități mai mari sau mai mici, ca de exemplu: mașini-unelte, motoare staționare cu ardere internă, pompe, compresoare, utilaje pentru industria alimentară etc.

În producția individuală sau de unicate se execută produse într-o nomenclatură foarte variată în cantități mici, în majoritate unicate. Datorită acestui fapt producția individuală trebuie să fie universală și foarte elastică, pentru a putea executa nomenclatura largă și foarte variată de produse.

Produsele executate în acest tip de producție fie că nu se mai repetă, fie că se repetă după intervale de timp *neprevăzute. Caracteristica principală* a producției individuale o constituie executarea la locurile de muncă a unei foarte variate game de operații diferite fără o repetare periodică a lor. Produsele acestui tip de producție sînt mașini care nu au o utilizare largă, executate pe comenzi speciale. Producția individuală este proprie industriei constructoare de mașini grele, ale cărei produse sînt hidroturbine mari, mașini-unelte grele unicate, utilaje metalurgice etc.

Divizarea uzinelor constructoare de mașini după tipuri de producții este *convențională.*

Într-o serie de cazuri, în uzinele cu producție de masă, în anumite secții lucrul se desfășoară în *serie.* Astfel, în paralel cu asamblarea generală a mașinii și a ansamblelor care necesită un volum mare de muncă se desfășoară și asamblarea în serie a ansamblelor care necesită un volum mai mic de muncă. Prelucrarea mecanică a pieselor mai simple se face de asemenea în serie.

În atelierele de presare la rece a tablelor, în atelierele de forjă a întreprinderilor cu producția de masă, datorită productivității foarte mari a utilajelor pentru aceste prelucrări, lucrul se desfășoară pe principiile producției de serie.

Se poate deci numi producție de masă, producția acelei întreprinderi în care la majoritatea locurilor de muncă se execută *în mod constant succesiv* aceeași operație, iar locurile de muncă sînt dispuse în ordinea succesiunii desfășurării procesului tehnologic.

Dacă însă la *majoritatea* locurilor de muncă se execută cîteva operații care se repetă periodic, atunci producția acelei întreprinderi este o *producție de serie.*

Dacă în repetarea executării operațiilor la locurile de muncă nu există o periodicitate planificată, atunci producția întreprinderii respective este *individuală sau de unicate.*

Producția de serie, în funcție de caracteristica ei principală, în unele cazuri se poate apropia de producția de masă, cînd se numește *producție de serie mare*, sau se poate apropia de producția individuală, cînd se numește *producție de serie mică.*

În afară de caracteristica de bază amintită, cele trei tipuri de producție mai au încă o serie de caracteristici ilustrate în tabelul 1.1.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 1.1

Caracteristicile tipurilor de producţie

Tipul producţiei		
individuală sau de unicate	de serie	de masă
Cantitate mică de produse	Cantitate medie de produse	Cantitate mare de produse
Nomenclator de produse foarte mare şi variabil în decursul unui an	Nomenclator de produse mediu cu repetare periodică	Nomenclator de produse redus, menţinut perioade mai mari de timp
Nu se prevede anticipat repetarea fabricării produsului	Repetarea periodică a fabricării serici de produse	Fabricarea neîntreruptă a produsului dat, într-un interval mare de timp
Încărcarea maşinilor-unelte fără nici un fel de regularitate	Repetarea periodică a încărcării maşinilor-unelte cu aceleaşi piese	Încărcarea neîntreruptă a maşinilor-unelte şi aceleaşi piese
Utilaj (maşini-unelte) universal	Utilaj universal şi în parte special	Utilaj specializat şi special (agregate, linii automate)
Scule şi dispozitive universale. Scule şi dispozitive speciale numai în cazuri izolate	Folosirea pe scară largă a sculelor şi dispozitivelor speciale	Scule, dispozitive şi verificatoare speciale complicate şi cu mecanisme automate
Reglarea la dimensiune a maşinilor-unelte după trasaj şi luări de aşchii de probă	Lucrul la maşini-unelte reglate la dimensiune	Reglări complicate la dimensiune ale maşinilor-unelte, automatizări ale proceselor tehnologice
Mîna de lucru cu înaltă calificare	Mîna de lucru cu calificări diferite	Mîna de lucru cu calificare scăzută. Număr mare de reglori
Lucrul după metoda ajustării	Largă înrădăcinare a lucrului după metoda interschimbabilităţii totale, cu păstrarea într-o măsură oarecare a metodei ajustării	Lucrul numai după metoda interschimbabilităţii totale. Folosirea în unele cazuri a metodei interschimbabilităţii parţiale şi a metodei selective. Lipsa ajustării
Turnarea în forme de pămînt: întrebuinţarea modelelor de lemn. Forjarea liberă	Folosirea în parte a modelelor metalice la turnare. Forjarea în matriţe	Folosirea metodelor moderne de turnare de precizie şi mare productivitate. Forjarea în matriţe
Aranjarea maşinilor-unelte în grupe după tipuri şi dimensiuni	Aranjarea în ordinea fluxului tehnologic numai a maşinilor-unelte mai încărcate	Aranjarea maşinilor-unelte în ordinea fluxului tehnologic
Controlul dimensiunilor cu instrumente universale	Largă folosire a verificatoarelor speciale	Controlul cu verificatoare speciale. Largă folosire a controlului activ (în timpul prelucrării) şi a controlului automat
Elaborarea procesului tehnologic după cele mai simple forme. Procese tehnologice după fişe tehnologice	Elaborarea procesului tehnologic cu fişe tehnologice şi planuri de operaţii însoţite de schiţe	Elaborarea detaliată a procesului tehnologic cu planuri de operaţii însoţite de schiţe. Calcule amănunţite ale preciziei de prelucrare.
Normarea lucrului pe bază statistică	Normarea tehnică şi cronometrare	Normare ştiinţifică, foarte detaliată

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 2

PRINCIPIUL DE BAZĂ AL PROIECTĂRII PROCESELOR TEHNOLOGICE OPTIME DE PRELUCRARE A PIESELOR ÎN INDUSTRIA CONSTRUCTOARE DE MAȘINI

2.1. ALGORITMUL DE PROIECTARE A PROCESULUI TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A PIESEI REPREZENTATIVE A CLASEI SAU GRUPEI DE PIESE

Pentru a se elimina subiectivismul tehnologilor în proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare a pieselor de mașini, ilustrat prin diferențele care apar foarte frecvent între procesele tehnologice de prelucrare a pieselor identice sau foarte asemănătoare ca formă geometrică și dimensiuni, în cadrul aceleiași întreprinderi sau întreprinderi similare, dotate cu același fel de utilaje, *este necesar ca procesele tehnologice de prelucrare a pieselor să se proiecteze folosind procesele tehnologice optime tipizate de prelucrare, a pieselor reprezentative a claselor sau a grupelor de piese.*

Din procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a pieselor reprezentative a claselor sau grupelor de piese, tehnologul sau calculatorul electronic selectează, funcție de suprafețele piesei care trebuie prelucrate, operațiile necesare prelucrării pieselor din componența clasei sau grupei de piese din care face parte piesa pentru care trebuie proiectat procesul tehnologic de prelucrare.

Pentru a fi posibil acest lucru, tehnologul trebuie să dispună de procesele tehnologice optime tipizate de prelucrare ale pieselor reprezentative a tuturor claselor sau grupelor de piese (pentru fiecare tip de producție).

Utilizarea proceselor tehnologice optime tipizate de prelucrare, pentru proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare a pieselor de mașini, prezintă un mare număr de avantaje, dintre care se pot enumera următoarele:

1 — se elimină, așa cum s-a arătat, subiectivismul tehnologilor în proiectarea proceselor tehnologice;

2 — se elimină deosebirile dintre procesele tehnologice de prelucrare, proiectate de tehnologi diferiți, a pieselor identice sau asemănătoare (din aceeași clasă sau grupă de piese);

3 — se reduce foarte mult timpul de proiectare a proceselor tehnologice de prelucrare ale pieselor din clasele sau grupele de piese;

4 — se asigură proiectarea de procese tehnologice optime de prelucrare pentru toate piesele din aceeași clasă sau grupă de piese;

Scanned with OKEN Scanner

5 — se asigură o unitate a proceselor tehnologice de prelucrare a pieselor din clasa sau grupa de piese nu numai în cadrul aceleiași întreprinderi, dar chiar și în cadrul întregii industrii constructoare de mașini;

6 — îmbunătățirile aduse proceselor tehnologice optime tipizate de prelucrare se pot extinde cu rapiditate și ușurință la toate procesele tehnologice de prelucrare a pieselor din clasele sau grupele respective;

7 — se poate foarte ușor cunoaște și aprecia (evalua) nivelul tehnico-științific al tehnologiilor aplicate într-o întreprindere sau chiar în întreaga industrie constructoare de mașini;

8 — cunoscînd procesele tehnologice tipizate de prelucrare a pieselor din clasele de piese aplicate în întreprinderile constructoare de mașini, se poate cu ușurință, de la nivelul centralelor industriale și chiar a ministerului construcțiilor de mașini, dirija și planifica evoluția progresului tehnico-științific din întreprinderi;

9 — ușurează conlucrarea dintre inginerii tehnologi și proiectanți în vederea unificării pieselor (a formelor geometrice și a dimensiunilor) în interiorul claselor de piese, lucru care simplifică, ușurează și reduce foarte mult costul prelucrării pieselor;

10 — ușurează activitatea de proiectare a *SDV*-urilor și a mașinilor-unelte.

Avantajele utilizării proceselor optime tipizate de prelucrare a pieselor reprezentative ale grupelor sau claselor de piese sînt valabile în toate cele trei tipuri de producții, pentru proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare a pieselor incluse în diversele clase sau grupe de piese.

Pentru a ne limita numai la problema proiectării proceselor tehnologice de prelucrare, se prezintă în cele ce urmează algoritmul cu etapele proiectării proceselor tehnologice de prelucrare a unei piese oarecare dintr-o clasă sau grupă de piese, folosind procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative a clasei sau a grupei de piese din care face parte piesa respectivă.

2.2. ALGORITMUL DE PROIECTARE A PROCESULUI TEHNOLOGIC OPTIM DE PRELUCRARE A UNEI PIESE DIN COMPONENȚA UNEI CLASE SAU GRUPE DE PIESE

Înainte de prezentarea etapelor de proiectare și de calcul a proceselor tehnologice de prelucrare, se menționează, că toate piesele de mașini trebuie să fie în prealabil incluse în clase sau grupe de piese, funcție de forma geometrică și de dimensiunile lor.

Au fost astfel constituite următoarele clase de piese (în interiorul cărora pot fi formate subclase și grupe de piese, după același criteriu): — clasa arbori; — clasa bucșe; — clasa pieselor cu suprafețe de revoluție și cu mai multe axe de simetrie paralele; — clasa pieselor cu axe de simetrie care se intersectează; — clasa pieselor cu profil complex în spațiu; — clasa roților dințate.

Fiecare clasă de piese are un cod numeric atribuit după clasificatorul UHBv.

Proiectarea proceselor tehnologice optime de prelucrare a pieselor din componența unei clase sau grupe de piese impune parcurgerea următoarelor etape:

E t a p a 1. În prima etapă sau în primul pas al algoritmului de proiectare și calcul a procesului tehnologic de prelucrare a unei piese oarecare, se identifică clasa sau grupa de piese în care poate fi inclusă piesa respectivă.

Odată identificată clasa sau grupa de piese, din care face parte piesa dată, se codifică fiecare suprafață elementară a piesei după codurile din tabelul 2.1.

Scanned with OKEN Scanner

Codurile formei geometrice a suprafețelor.

Tabelul 2.1

Nr. crt.	Denumirea suprafeței	Codul XX
1.	Baza tehnologică	01
2.	Suprafață cilindrică exterioră	02
3.	Suprafață conică exterioară	03
4.	Teșitură exterioară	04
5.	Degajare exterioară	05
6.	Canal de pană	06
7.	Dantură exterioară obținută prin orice proces	07
8.	Canelură exterioară	08
9.	Suprafață plană exterioară	09
10.	Filet exterior (orice tip)	10
11.	Suprafață cilindrică interioară	11
12.	Suprafață conică interioară	12
13.	Teșitură interioară	13
14.	Degajare interioară	14
15.	Canal de pană interior	15
16.	Dantură interioară	16
17.	Canelură interioară	17
18.	Filet interior	18
19.	Găuri axiale	19
20.	Găuri oarecare	20
21.	Găuri filetate	21
22.	Suprafață frontală exterioară	22
23.	Suprafață frontală interioară	23
24.	Suprafață profilată exterioară	24
25.	Suprafață profilată interioară	25
26.	Racordări exterioare	26
27.	Racordări interioare	27
28.	Suprafață frontală de capăt	28
29.	Dantură exterioară frezată	29
30.	Dantură exterioară mortezată	30
31.	Canal de pană exterior longitudinal	31

Etapa 2. În această etapă se selectează procesul tehnologic de prelucrare a piesei date, din procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative a clasei sau a grupei de piese respective.

Etapa 3. În etapa a treia se efectuează următoarele calcule, pentru fiecare operație a procesului tehnologic selectat în etapa precedentă, pentru optimizarea definitivă a acestuia:

— calculul erorii de bazare;
— calculul adaosului de prelucrare și a dimensiunilor intermediare;
— calculul regimului optim de așchiere;
— calculul preciziei de prelucrare, respectiv a erorii totale de prelucrare;
— calculul adîncimii urmelor lăsate pe suprafața piesei prelucrate de către muchia așchietoare a sculei;
— alegerea și amplasarea rațională a instalațiilor de transportat și ridicat a pieselor de la un loc de muncă la altul;
— calculul normei tehnice de timp;
— calculul coeficientului de încărcare a utilajului și de ocupație a muncitorului;
— sincronizarea operațiilor;
— întocmirea schemei liniei tehnologice.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 3

ALGORITMUL DE PROIECTARE A PROCESULUI TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A PIESEI REPREZENTATIVE A CLASEI SAU A GRUPEI DE PIESE

Proiectarea procesului tehnologic optim tipizat de prelucrare a pieselor reprezentative a claselor sau a grupelor de piese se face după următorul algoritm;

1 — alegerea piesei reprezentative, dintre piesele clasei sau ale grupei, sau proiectarea ei în cazul în care printre piesele respective nu există o piesă reprezentativă;

2 — codificarea suprafețelor elementare ale piesei reprezentative;

3 — determinarea succesiunii optime a suprafețelor elementare ale piesei reprezentative în vederea prelucrării lor;

4 — prescrierea tuturor procedeelor sau a metodelor tehnologice de prelucrare posibile de aplicat pentru prelucrarea fiecărei suprafețe elementare a piesei, sau a unui grup de suprafețe elementare, succesiv sau simultan, care pot asigura la lucrul cu regimul prescris toleranța și rugozitatea impusă pe desenul de execuție;

5 — indicarea clasei de precizie și a rugozității suprafeței prelucrate cu regimul optim de așchiere, asigurate de fiecare procedeu sau metodă tehnologică de prelucrare prescrisă în etapa precedentă, în vederea calculării coeficientului total de precizie impus;

6 — alegerea utilajului și a echipamentului tehnologic necesar pentru fiecare procedeu sau metodă tehnologică de prelucrare prescrisă;

7 — prescrierea din normative a regimului de așchiere pentru prelucrarea fiecărei suprafețe elementare a piesei după fiecare procedeu sau metodă tehnologică prescrisă (în etapa 4);

8 — calculul normei tehnice de timp;

9 — calculul unui minut-mașină pentru fiecare procedeu sau metodă tehnologică de prelucrare;

10 — calculul costurilor parțiale și a costului total de prelucrare, la o operație, după fiecare procedeu sau metodă tehnologică, pe un utilaj, cu *SDV*-urile aferente;

11 — determinarea variantei optime a procesului tehnologic tipizat și a următoarelor 3—4 variante în ordine crescătoare a costurilor.

Scanned with OKEN Scanner

3.1. ALEGEREA SAU PROIECTAREA PIESEI REPREZENTATIVE A UNEI CLASE SAU GRUPE DE PIESE

Piesa reprezentativă a unei clase sau grupe de piese trebuie să conțină (să fie constituită din) toate suprafețele elementare ale tuturor pieselor din clasa sau grupa de piese, deoarece procesul tehnologic de prelucrare a piesei reprezentative trebuie să conțină, la rîndul lui, toate operațiile proceselor tehnologice de prelucrare a pieselor componente ale clasei sau grupei de piese pe care o reprezintă.

Dintre piesele care constituie o clasă sau o grupă de piese, trebuie aleasă acea piesă care îndeplinește condiția enunțată mai sus.

În cazul în care în clasa sau grupa de piese nu se găsește o astfel de piesă, atunci se proiectează o piesă reprezentativă.

Modul cel mai simplu de proiectare a piesei reprezentative este de a desena (a suprapune) pe desenul celei mai complexe piese din clasa sau grupa de piese, acele suprafețe elementare ale pieselor existente pe care ea nu le conține.

3.2. CODIFICAREA SUPRAFEȚELOR ELEMENTARE ALE PIESEI REPREZENTATIVE

Informațiile despre piesa reprezentativă în vederea proiectării procesului tehnologic optim tipizat, cît și despre piesele din clasa sau grupa de piese, pot fi date prin diverse coduri și anume: numeric, alfanumeric sau alfabetic.

Spre deosebire de ultimele două sisteme de coduri, codul numeric permite o utilizare mai ușoară a lui în sistemul de prelucrare automată a datelor și se poate completa fără a i se schimba structura.

Pentru că se întîlnesc puține piese care au un număr mai mare de 99 forme geometrice de suprafețe elementare și pentru că numărul de prelucrări necesare obținerii fiecărei suprafețe elementare, de la forma inițială (de semifabricat) la forma finală, este relativ mic, precum și pentru faptul că fiecare formă geometrică de suprafață elementară se întîlnește la o piesă de un număr de asemenea mai mic de 99, se propune un cod numeric format din trei grupe de cifre: XX, YY, ZZ, în care:

XX reprezintă forma geometrică a suprafeței elementare;

YY — caracterul prelucrării suprafețelor respective și anume: degroșare, semifinisare, finisare, superfinisare (înainte și după tratamentul termic);

ZZ — numărul de ordine al aceleiași forme geometrice de suprafață elementară întîlnită pe piesă din partea stîngă spre partea dreaptă a piesei.

3.3. DETERMINAREA SUCCESIUNII OPTIME A SUPRAFEȚELOR ELEMENTARE ALE PIESEI REPREZENTATIVE ÎN VEDEREA PRELUCRĂRII LOR

Dacă piesa reprezentativă a grupei de piese are un număr de k suprafețe elementare, ele se pot prelucra într-un număr de $k!$ variante de succesiuni teoretic posibile. Dacă se ia drept criteriu de optimizare a succesiunii *costul prelucrării*, se constată că dintre toate cele $k!$ variante, numai una poate asigura valoarea optimă a criteriului respectiv.

Scanned with OKEN Scanner

Dintre toate variantele teoretice posibile de succesiuni a suprafețelor pentru prelucrarea lor unele sînt absurde din punct de vedere tehnologic, altele sînt mai mult sau mai puțin raționale și toate acestea pot fi excluse de către tehnolog din „competiție".

În activitatea practică s-au conturat și impus cîteva principii, enumerate în continuare, după care trebuie să se succeadă diversele suprafețe ale piesei pentru prelucrare.

Dacă tehnologul ține seama de principiile respective, numărul variantelor de succesiune poate fi mult redus și se pot exclude de la început variantele irațională.

— Dacă prelucrarea completă a piesei nu se face într-o singură operație, atunci în prima operație a procesului tehnologic trebuie să se prelucreze acea sau acele suprafețe care în operația sau operațiile următoare urmează să servească drept bază sau baze tehnologice.

— În primele din următoarele operații vor trebui prelucrate acele suprafețe ale piesei, care ajută la descoperirea defectelor ascunse ale semifabricatului (porozități inadmisibile, fisuri etc.) pentru a fi oprită prelucrarea piesei în operațiile următoare.

— În cazul în care baza tehnologică de așezare nu servește și ca bază de măsurare, atunci va trebui să se prelucreze în operația sau faza următoare acea suprafață care pe desenul de execuție a piesei este prevăzută a fi bază de măsurare.

— La piesele cu suprafețe de revoluție se prelucrează mai întîi diametrul lor și apoi suprafețele frontale.

— În primele operații sau faze ale operației trebuie să se prelucreze acele suprafețe care nu micșorează rigiditatea piesei.

— Se prelucrează mai întîi suprafața cu cea mai mică toleranță, deoarece ea este mai susceptibilă a fi rebutată.

— Spre sfîrșitul procesului tehnologic trebuie să se prevadă prelucrarea acelor suprafețe care în timpul prelucrării altor suprafețe sau în timpul transportului interoperațional se pot deteriora, cum ar fi de exemplu suprafețele filetate.

— Succesiunea operațiilor sau a fazelor unei operații trebuie să fie astfel aleasă, încît lungimea curselor parcurse de scule cu avans de lucru să fie minimă, pentru a se reduce timpul de lucru.

— La piesele confecționate din semifabricate turnate sau matrițate (care au tensiuni interne), prelucrarea de degroșare trebuie separată în timp de cea de finisare, pentru ca în intervalul de timp dintre ele, să se efectueze o detensionare naturală sau artificială, astfel încît la sfîrșitul procesului tehnologic de prelucrare tensiunile interne să fie eliminate complet.

— Succesiunea operațiilor trebuie să fie stabilită și în funcție de necesitatea de a schimba cît mai puțin posibil baza de așezare în decursul desfășurării procesului tehnologic, deoarece schimbările acesteia atrag după sine erori de bazare (de poziționare) și creșterea timpului auxiliar.

3.3.1. ALEGEREA BAZELOR TEHNOLOGICE ȘI DE MĂSURARE

Metoda generală de calcul a erorilor de bazare. Dispersarea dimensiunilor unui lot de piese prelucrate pe o mașină-unealtă reglată la dimensiune este provocată în mare măsură, în afară de erorile care apar în procesul de prelucrare de *erorile de bazare*. Suma erorilor de bazare și a tuturor erorilor legate

Scanned with OKEN Scanner

de procesul de prelucrare, plus eroarea sistematică constantă a dispozitivului nu trebuie să depășească mărimea toleranței dimensiunii respective indicată pe desenul de execuție al piesei, adică

$$\delta \geqslant \xi + \eta, \tag{3.3.1}$$

unde δ este toleranța dimensiunii care trebuie să se obțină în urma prelucrării, în operația curentă; ξ — suma erorilor de bazare și a erorilor legate de procesul de prelucrare; η — eroarea sistematică constantă a dispozitivului în care este fixată piesa care se prelucrează.

Suma erorilor de bazare și de prelucrare poate fi determinată după regula rădăcinii pătrate și anume:

$$\xi = \sqrt{K_b^2\omega_b^2 + K_p^2\omega_p^2}, \tag{3.3.2}$$

unde ω_b este mărimea cîmpului de dispersie a erorilor de bazare;

ω_p — mărimea cîmpului de dispersie a erorilor provocate de factorii care apar în timpul procesului de prelucrare, cînd eroarea de bazare este egală cu zero: K_b, K_p — coeficienți a căror valoare depinde de legile de dispersie respective și este cuprinsă între 1 și 1,7. Valoarea 1 se ia atunci cînd dispersia se supune legii normale de dispersie.

Dacă se introduce relația (3.3.2) în (3.3.1) se obține:

$$\delta \geqslant \sqrt{K_b^2\omega_b^2 + K_p^2\omega_p^2} + \eta. \tag{3.3.3}$$

Din această ultimă relație se poate deduce ușor relația care exprimă mărimea cîmpului de dispersie a erorilor de bazare și anume:

$$\delta - \eta \geqslant \sqrt{K_b^2\omega_b^2 + K_p^2\omega_p^2},$$

$$(\delta - \eta)^2 \geqslant K_b^2\omega_b^2 + K_p^2\omega_p^2,$$

de unde rezultă că:

$$\omega_b \leqslant \frac{\sqrt{(\delta - \eta)^2 - K_p^2\omega_p^2}}{K_b}.$$

Pe baza relației obținute se poate scrie că valoarea maximă admisibilă a cîmpului de dispersie a dimensiunilor provocată de erorile de bazare este:

$$\omega_{b\ adm} = \frac{\sqrt{(\delta - \eta)^2 - K_p^2\omega_p^2}}{K_b}. \tag{3.3.4}$$

În calculele practice $\omega_{b\ adm}$ se poate calcula cu o precizie suficientă cu ajutorul următoarei relații aproximative:

$$\omega_{b\ adm} = \delta - \psi_0, \tag{3.3.5}$$

în care ψ_0 este precizia medie economică de prelucrare.

Eroarea de bazare apare (fig. 3.3.1) atunci cînd baza de măsurare este diferită de baza de așezare.

În acest caz, dimensiunea L care trebuie obținută în operația curentă (fig. 3.3.1) este funcție de dimensiunile x_1, x_2 care au fost obținute în operațiile precedente.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru determinarea valorii reale a cîmpului de dispersie a dimensiunii L cauzată de eroarea de bazare, se consideră că L este funcție de dimensiunile de bază x variabile și de dimensiunile fixe A, B, adică:

$$L = \varphi(x_1,\ x_2, \dots x_n,\ A, B, \dots). \quad (3.3.6)$$

Eroarea ΔL care afectează dimensiunea L poate fi exprimată sub forma unei diferențiale totale:

$$\Delta L = \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial \varphi}{\partial x_n} dx_n, \quad (3.3.7)$$

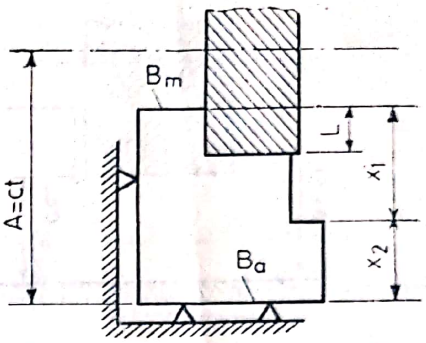


Fig. 3.3.1. Schemă de principiu pentru determinarea erorii de bazare:
B_m — bază de măsurare;
B_a — bază de așezare.

în care se pot înlocui creșterile infinitezimale dx_1, $dx_2 \dots dx_n$ cu mărimi finite Δx_1, Δx_2, $\dots \Delta x_n$, care exprimă abaterile de la dimensiunile de bază variabile x_1, x_2, $\dots x_n$ și se obține:

$$\Delta L = \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial \varphi}{\partial x_n} \Delta x_n. \quad (3.3.8)$$

Dacă se asimilează eroarea de bazare ΔL cu cîmpul de dispersie a acestei dimensiuni, iar abaterile de la dimensiunile de bază Δx_1, $\Delta x_2 \dots \Delta x_n$ cu toleranțele acestor dimensiuni δx_1, $\delta x_2 \dots \delta x_n$ se obține relația care exprimă mărimea cîmpului de dispersie real al dimensiunii L, atunci cînd baza de măsurare nu coincide cu baza de așezare:

$$\omega_{b\ real} = k \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_1}\right)^2 \delta x_1^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_2}\right)^2 \delta x_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_n}\right)^2 \delta x_n^2}, \quad (3.3.9)$$

în care k este coeficient a cărei valoare depinde de legile de dispersie și variază între 1 ... 1,7; k = 1 cînd dispersia se supune legii normale de dispersie.

Pentru a se asigura ca prelucrarea pieselor să aibă loc fără rebut, trebuie ca:

$$\omega_{b\ adm} \geqslant \omega_{b\ real}. \quad (3.3.10)$$

Pentru concretizarea celor prezentate pînă aici în legătură cu calculul erorii de bazare să dă mai jos un exemplu.

Fie de exemplu, ca pe o mașină de frezat orizontală (reglată la dimensiune) să se prelucreze un lot de piese, a căror bază de așezare este o suprafață plană. La prelucrarea respectivă trebuie să se realizeze dimensiunea L = 30 mm, după cum se vede în figura 3.3.2.

Se consideră, că $\sigma = 0{,}015$ mm; $\omega_p = 6\ \sigma = 6 \cdot 0{,}015 = 0{,}09$; eroarea sistematică constantă a dispozitivului $\eta = 0{,}04$ mm; curba de dispersiune a dimensiunilor urmează legea normală și deci $k = 1$.

Rezultă că eroarea de bazare:

$$\omega_{b\ adm} = \frac{\sqrt{(\delta - \eta)^2 - k_p^2 \omega_p^2}}{k_b^3} = \frac{\sqrt{(0{,}15 - 0{,}04)^2 - 0{,}09^2}}{1} = 0{,}063 \text{ mm}$$

Eroarea reală de bazare $\omega_{b\ real} = 0$, întrucît se observă din figura 3.3.2, *a* că baza de așezare coincide cu baza de măsurare (dimensiunea L în acest caz nu este funcție de dimensiunea X).

Scanned with OKEN Scanner

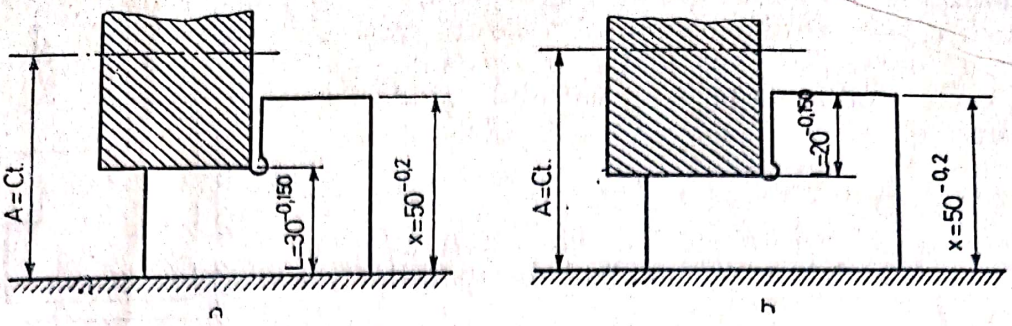


Fig. 3.3.2. Variante de bazare:
a — baza de măsurare coincide cu baza de așezare; *b* — baza de măsurare este diferită de baza de așezare.

După cum se vede $\omega_{b\ adm} > \omega_{b\ real}$, de unde rezultă, că schema de așezare aleasă asigură obținerea preciziei de prelucrare impusă de constructor pentru dimensiunea $L = 30$ mm.

În cazul cînd la prelucrarea respectivă trebuie să se realizeze dimensiunea $L = 20_{-0,1}$ mm, după cum se vede în figura 3.3.2, *b*, baza de măsurare nu mai coincide cu cea de așezare, lucru ce dă naștere la o eroare de bazare egală cu:

$$\omega_{b\ real} = k \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_1}\right)^2 \delta x_1^2} = 1 \sqrt{1^2 \cdot 0{,}2^2} = 0{,}2 \text{ mm}.$$

Eroarea admisibilă de bazare $\omega_{b\ adm}$ este aceeași ca în cazul precedent, adică $\omega_{b\ adm} = 0{,}142$ mm, întrucît condițiile de prelucrare în cazul 2 au rămas identice cu cele din cazul 1

În cazul prelucrării după schema *b* (fig. 3.3.2) nu mai este satisfăcută inegalitatea $\omega_{badm} \geqslant \omega_{b\ real}$ întrucît $0{,}2 > 0{,}063$, lucru ce demonstrează că prelucrarea după această schemă nu asigură obținerea preciziei de prelucrare impusă de constructor pentru dimensiunea $L = 20$ mm.

Pentru ca prelucrarea după schema de așezare din figura 3.3.2, *b* să aibă loc fără rebut va trebui să se ia una din următoarele măsuri:

1) — să se mărească ω_{badm} prin mărirea cîmpului de toleranțe δ_L a dimensiunii $L = 20$ mm.

Prin mărirea toleranței acestei dimensiuni se mărește valoarea erorii admisibile de bazare $\omega_{b\ adm}$. Inginerul tehnolog nu are dreptul să mărească toleranțele dimensiunilor de pe desenul de execuție și în consecință această măsură cade.

2) — să se micșoreze $\omega_{b\ real}$ prin micșorarea cîmpului de toleranțe δ_x a dimensiunii $x = 50_{-0,2}$ mm.

Micșorînd cîmpul de toleranță al acestei dimensiuni, se micșorează valoarea erorii reale de așezare $\omega_{b\ real}$. Pentru a satisface condiția de prelucrare fără rebut $\omega_{b\ adm} \geqslant \omega_{b\ real}$ va trebui ca toleranța δ_x a dimensiunii $x = 50$ mm, să se micșoreze pînă la cel puțin valoarea toleranței dimensiunii $L = 20$, adică de la 0,20 mm la 0,15 mm.

Cu cît este mai mică toleranța δ_x a dimensiunii x decît a dimensiunii L, cu atît valoarea erorii reale de bazare $\omega_{b\ real}$ este mai mică, deci cu atît mai mare va fi siguranța lucrului fără rebut, la prelucrarea după schema de așezare din figura 3.3.2, *b*

3) — schimbarea schemei de așezare.

Dacă piesa se va fixa pentru prelucrare într-un dispozitiv în așa fel încît baza de măsurare să coincidă cu cea de așezare, atunci, după cum se știe, eroarea reală de bazare $\omega_{b\ real}$ va fi egală cu zero.

În acest caz precizia de prelucrare a dimensiunii ce se obține în prelucrarea curentă va depinde numai de precizia reglării la dimensiune a mașinii-unelte și de influența factorilor care apar în timpul procesului de așchiere.

Scanned with OKEN Scanner

Schema principală a unui astfel de dispozitiv este reprezentată în figura 3.3.3.

După cum se vede, există două posibilități pentru a se asigura obținerea preciziei de prelucrare a dimensiunii $L = 20$ mm. Pentru alegerea uneia sau alteia din cele două variante este necesar a se face un calcul economic, pentru a se alege varianta cea mai economică.

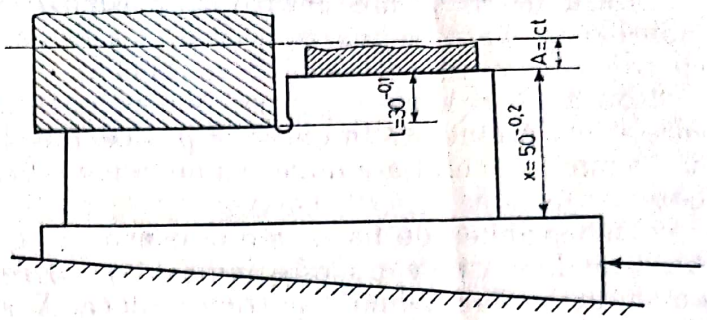


Fig. 3.3.3. Schema de principiu a unui dispozitiv a cărei bază de măsurare coincide cu baza de așezare.

Calculul dimensiunilor de bază. Se numește *dimensiune de bază* a unei piese care urmează să se prelucreze, dimensiunea care definește poziția bazei de măsurare față de baza de așezare.

Inginerul tehnolog trebuie să calculeze dimensiunile de bază și toleranțele acestora, pentru a fi trecute în planul de operații, în următoarele situații:

1 — cînd dimensiunile de bază nu sînt indicate pe desenul de execuție al piesei;

2 — cînd dimensiunile de bază sînt indicate pe desenul piesei ca dimensiuni libere fără toleranțe;

3 — cînd toleranțele prescrise dimensiunilor de bază pe desenul piesei generează o valoare mai mare a erorii de așezare decît cea admisibilă.

Calculul dimensiunilor de bază și al toleranțelor respective implică unele greutăți, atunci cînd prin prelucrarea unei suprafețe în operația dată se realizează două dimensiuni îngrădite de anumite toleranțe.

Prezentarea modului de calcul al dimensiunilor de bază se face mai ușor dacă se ia un exemplu oarecare. Fie astfel piesa din figura 3.3.4 executată în operația precedentă pe un strung semiautomat cu un ax.

La piesa respectivă trebuie în operația următoare să se strunjească suprafața frontală și să se realizeze în același timp două dimensiuni: lungimea totală de $55 \pm 0{,}12$ mm și lungimea gulerului de $12^{-0{,}05}$ mm.

Baza de așezare în această operație este suprafața exterioară, iar cea de reazem este suprafața frontală din spatele gulerului.

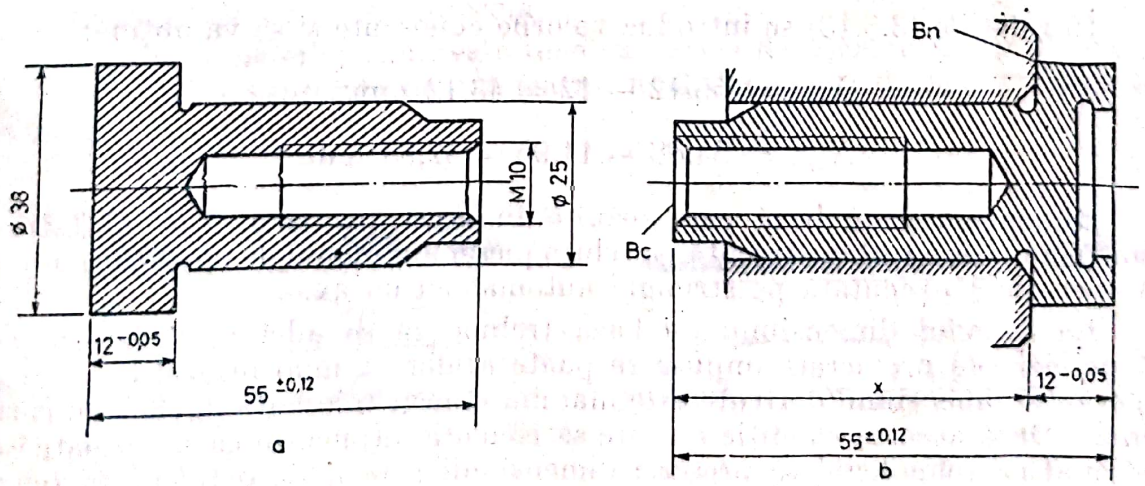


Fig. 3.3.4. Exemplu pentru calculul dimensiunii de bază:
a — piesă realizată în operația *1* pe un strung semiautomat; *b* — piesa fixată într-o bucșă elastică pentru prelucrarea suprafețelor frontale; *x* — dimensiunea de bază.

Scanned with OKEN Scanner

Baza de măsurare pentru dimensiunea de 12 mm este suprafața B_n (adică chiar baza de reazem), ceea ce face ca eroarea de bazare să fie egală cu zero, deoarece cele două baze coincid.

Baza de măsurare pentru dimensiunea de 55 mm este suprafața B_c, care a fost prelucrată în operația precedentă. La realizarea acestei dimensiuni de 55 mm în operația a doua, va apărea o eroare de bazare, întrucît cele două baze nu coincid.

Dimensiunea de bază este dimensiunea notată în figura 3.3.4, *b* , cu X. Această dimensiune nu este indicată pe desenul de execuție al piesei. Din punct de vedere tehnologic dimensiunea X are o importantă deosebită, ea trebuind să fie realizată în operația precedentă, cu o toleranță bine determinată, deoarece făcînd prelucrarea suprafeței frontale în operația a doua, după schema din figura 3.3.4, *b*, trebuie să se realizeze simultan două dimensiuni cu toleranțe mici și anume dimensiunea principală (de 12 mm) și dimensiunea derivată (de 55 mm).

Deci, va trebui să se determine o astfel de valoare, pentru dimensiunea de bază X, care însumată cu dimensiunea principală de 12 mm să asigure obținerea dimensiunii derivate de 55 mm în limitele toleranței impuse (în cazul de față $\pm 0{,}12$ mm).

Rezolvarea acestei probleme se bazează pe scrierea ecuației lanțului de dimensiuni constituit din cele trei elemente (dimensiunea principală, derivată și cea de bază), avînd drept element de închidere a lanțului de dimensiuni, dimensiunea derivată și anume:

$$55 = 12 + X \tag{3.3.11}$$

Din ecuația de bază a lanțului de dimensiuni se scriu următoarele două ecuații limită:

$$\begin{aligned} 55_{max} &= 12_{max} + X_{max}; \\ 55_{min} &= 12_{min} + X_{min}, \end{aligned} \tag{3.3.12}$$

din care rezultă:

$$\begin{aligned} X_{max} &= 55_{max} - 12_{max}; \\ X_{min} &= 55_{min} - 12_{min}. \end{aligned} \tag{3.3.13}$$

În relațiile (3.3.13) se introduc valorile cunoscute și se va obține:

$$X_{max} = 55{,}12 - 12 = 43{,}12 \text{ mm};$$

$$X_{min} = 54{,}88 - 11{,}95 = 42{,}93 \text{ mm}.$$

Dimensiunea de bază care rezultă în acest caz este $X = 43^{+0{,}12}_{-0{,}07}$ mm, dimensiune care trebuie trecută pe schița piesei din planul de operații și anume în operația 1 executată pe strungul automat cu un ax.

La calculul dimensiunii de bază trebuie să se aibă în vedere faptul, că precizia de prelucrare impusă se poate asigura numai în acel caz în care toleranța dimensiunii derivate este mai mare decît toleranța dimensiunii principale. Dacă această condiție nu este satisfăcută, atunci, în cazuri izolate este rațional ca tehnologul să prescrie dimensiunii principale o toleranță tehnologică mai mică decît cea impusă pe desenul de execuție a piesei și care în valoare absolută să fie mai mică decît toleranța dimensiunii derivate.

Scanned with OKEN Scanner

3.3.2. CONDIȚIILE PE CARE TREBUIE SĂ LE ÎNDEPLINEASCĂ BAZA DE AȘEZARE

Pentru prelucrarea suprafețelor, care urmează a fi folosite apoi ca baze tehnologice, la început se folosesc suprafețele brute neprelucrate ale semifabricatelor.

Baza de așezare brută folosită în prima operație trebuie să asigure într-o măsură cît mai mare posibilă, îndepărtarea unui strat de metal egal, adică a unui adaos de prelucrare uniform de pe suprafața sau suprafețele piesei care se prelucrează în operațiile următoare. Este necesar acest lucru pentru că, pe de o parte adaosul de prelucrare neuniform dă naștere la adîncimi de așchiere neuniforme în timpul chiar al unei treceri, ceea ce atrage după sine forțe de așchiere variabile și de aici, variații ale deformațiilor elastice ale sistemului tehnologic mașină-unealtă-piesă-sculă, apoi apariția vibrațiilor forțate în timpul procesului de așchiere și o serie de alte fenomene dăunătoare. Pe de altă parte, acest lucru mai este necesar pentru că, îndepărtarea unui adaos de prelucrare neuniform în operațiile următoare poate atrage după sine înrăutățirea calităților fizico-mecanice ale piesei respective. Astfel, de exemplu, batiurile mașinilor unelte (în special ale strungurilor, mașinilor de rectificat etc.) se toarnă în așa fel, încît ghidajele să fie în jos, pentru ca pe ghidaje să se obțină un strat de metal cu o structură cristalină uniformă, omogenă. Este deci clar, că de pe ghidaje în timpul prelucrării lor prin așchiere este necesar să se îndepărteze un adaos de prelucrare uniform și relativ mic, pentru a se păstra pe toată lungimea ghidajelor aceeași structură a metalului. Astfel ghidajele vor avea pe toată lungimea lor aceeași rezistență la uzură.

Pentru acest lucru este necesar ca baza de așezare în prima operație să fie ghidajele batiului. În cazul unor erori de turnare a batiului, se va îndepărta în această primă operație un adaos de prelucrare neuniform de pe tălpile batiului, așa după cum se vede în figura 3.3.5, *a*.

În operația următoare reprezentată în figura 3.3.5, *b*, se vede că se îndepărtează de pe ghidaje un adaos de prelucrare uniform.

În cazul în care s-ar alege ca bază de așezare în prima operație postamentul batiului, se va îndepărta în mod inevitabil de pe ghidajele batiului un adaos de prelucrare neuniform, lucru ce ar duce după cum s-a arătat mai sus, la obținerea unei structuri neuniforme în lungul ghidajelor și de aici la o rezistență la uzură neuniformă.

În general, pe cît posibil este bine ca bazele de așezare brute din prima operație să aibă suprafețe netede (să nu aibă denivelări de la matrițare sau turnare).

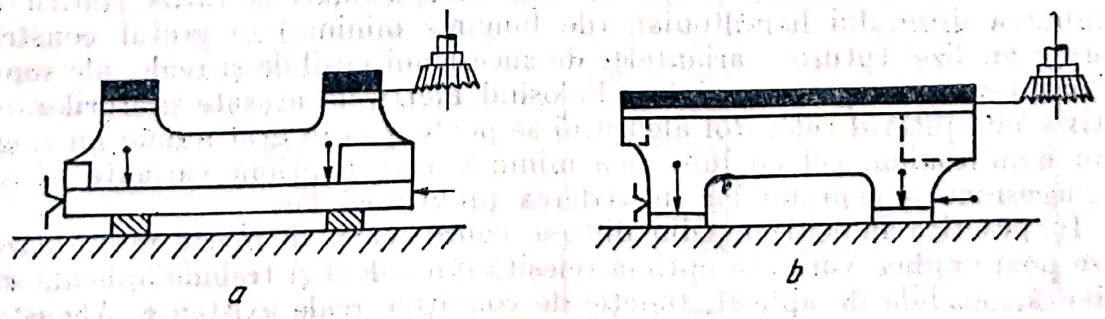


Fig. 3.3.5. Schema de prelucrare a batiului de strung care asigură îndepărtarea unui adaos de prelucrare uniform de pe ghidaje.

Scanned with OKEN Scanner

În cazurile în care bazele brute ale semifabricatelor nu îndeplinesc condițiile necesare cerute de inginerul tehnolog, se prevede ca pe corpul semifabricatului matrițat sau turnat să se realizeze bosaje speciale care să servească drept bază de așezare în prima operație a procesului tehnologic de prelucrare. Aceste bosaje pot ca în una din operațiile următoare să fie înlăturate sau pot să rămînă pe piesă, dacă nu împiedică în exploatare.

Considerațiile de bază care se recomandă a se avea în vedere de către inginerul tehnolog la alegerea bazelor de așezare, în general sînt următoarele:

1— pe cît posibil să se aleagă în așa fel baza de așezare, încît ea să se confunde cu baza de măsurare (în acest caz erorile de bazare sînt egale cu zero). Această considerație este bine să o aibă în vedere și inginerul constructor la proiectare;

2 — pe cît este posibil în tot decursul desfășurării procesului tehnologic de prelucrare (la toate operațiile) să se folosească aceeași bază de așezare, întrucît de schimbarea bazei de așezare este legată de cele mai multe ori recalcularea dimensiunilor și toleranțelor date de constructor pe desenul de execuție;

3 — în cazul cînd nu se poate folosi aceeași bază de așezare în toate operațiile, se recomandă a se alege drept bază de așezare acea suprafață a piesei care-i asigură rigiditatea cea mai mare în timpul prelucrării. Dacă în acest caz noua bază de așezare nu coincide cu baza de măsurare, se va face calculul erorii de bazare și dacă este necesar se vor lua măsurile cele mai economice pentru a se asigura obținerea dimensiunii respective în limitele toleranței date de constructor pe desenul de execuție al piesei;

4 — în cazul cînd configurația semifabricatului sau a piesei prelucrate nu permite a se alege o bază de așezare corespunzătoare, atunci se va recurge la prelucrarea unei suprafețe destinată numai pentru așezare, fără să aibă vreo importanță constructivă sau în exploatare. Astfel de baze de așezare se numesc baze de așezare artificiale sau false. Drept exemplu de astfel de baze pot fi date găurile de centrare ce se fac pentru prelucrarea arborilor.

3.3.3. ALGORITMUL DM 1

Ținînd seama de principiile enumerate în subcapitolul 3.3 există totuși cazuri în care numărul variantelor de succesiuni, — practic posibile —,ale suprafețelor elementare ale piesei pentru prelucrare — este foarte mare și este deosebit de dificil pentru tehnolog să stabilească varianta optimă.

Dată fiind această stare de lucruri a apărut necesitatea utilizării unor algoritmi, bazați pe teoria grafurilor, pentru a determina ușor și destul de rapid, succesiunea optimă a suprafețelor pentru prelucrare.

Au fost astfel studiați și aplicați algoritmii Foulkes și Litlle pentru determinarea drumului hamiltonian (de lungime minimă) în graful construit în urma analizei tuturor variantelor de succesiuni posibile și reale, ale suprafețelor în vederea prelucrării lor. Folosind matricele atașate grafurilor respective, cu ajutorul celor doi algoritmi se poate găsi în graf numai un singur drum hamiltonian, cel cu lungimea minimă, care exprimă varianta optimă de succesiune a suprafețelor în vederea prelucrării lor.

În practica industrială, din diverse cauze reale, în foarte multe cazuri nu se poate aplica varianta optimă reieșită din calcul și trebuie aplicată altă variantă, posibilă de aplicat, funcție de condițiile reale existente. Algoritmii respectivi nu permit găsirea în grafurile construite și a altor variante (a altor drumuri hamiltoniene de lungimi mai mari).

Scanned with OKEN Scanner

Această deficiență mare a algoritmilor amintiți este înlăturată de algoritmul elaborat de noi, denumit convențional „algoritmul DM".

Algoritmul *DM* impune a fi cunoscută suprafața sau suprafețele care se prelucrează în prima operație sau fază a operației și care servesc drept bază tehnologică de așezare.

Această suprafață nu este greu de ales, în majoritatea cazurilor ea se „autoimpune". Astfel de exemplu, în cazul *arborilor* baza de așezare este constituită din *găurile de centrare*. Însă, pentru prelucrarea găurilor de centrare este necesară prelucrarea în prealabil a suprafețelor frontale. Deci, în acest caz, suprafețele frontale și găurile de centrare sînt primele suprafețe care se vor prelucra în prima operație a procesului tehnologic de prelucrare a arborilor.

La fel ca și în cazul celorlalți algoritmi, se construiește un graf cu toate variantele de succesiune ale suprafețelor pentru prelucrarea lor, variante posibile a fi aplicate (exclusiv cele posibile din punct de vedere teoretic însă iraționale din punct de vedere tehnologic), graf în care urmează să se determine, cu ajutorul matricei asociată lui, toate drumurile hamiltoniene.

Drumurile hamiltoniene determinate constituie variante de succesiune ale suprafețelor piesei în vederea prelucrării lor.

Fiecare vîrf al grafului reprezintă o suprafață elementară a piesei, iar fiecare arc orientat indică succesiunea suprafeței, adică ordinea în care ea urmează a fi prelucrată (înainte sau după altă suprafață elementară). Lungimea arcelor din graf poate reprezenta *timpul de lucru* al suprafeței respective sau *costul* prelucrării ei.

Drumurile hamiltoniene în graful construit pot fi identificate cu ajutorul unei matrice asociate lui, $A[I, J] = (a_{ij})$, în care:

$$a_{ij} = \begin{cases} J, \text{ dacă în graf există arc de la } X_i \text{ la } X_j; \\ 0, \text{ dacă în graf nu există arc de la } X_i \text{ la } X_j \\ \text{și dacă } X_i = X_j. \ (i, j = 1, 2, \ldots n) \end{cases}$$

Cu ajutorul acestui algoritm, care este ușor de programat pe calculatorul electronic, se pot identifica toate drumurile hamiltoniene în graf, respectiv toate variantele de succesiuni ale suprafețelor în vederea prelucrării lor, variante care se pot indica în ordine crescătoare a mărimii timpului de lucru sau a costului prelucrării. Astfel, tehnologul, în cazul în care nu poate aplica succesiunea optimă, aplică succesiunea, respectiv varianta, imediat următoare, știind de fiecare dată care este eficiența economică a variantei aplicate.

Principiul algoritmului *DM* se înțelege mai ușor dacă el se prezintă pe baza următoarei aplicații simple.

Fie astfel piesa din figura 3.3.6, la care trebuie să se prelucreze prin burghiere cele trei suprafețe interioare, după ce în prealabil se prelucrează suprafața frontală.

Succesiunile suprafețelor în vederea prelucrării lor sînt reprezentate în graful din figura 3.3.7.

Matricea asociată grafului este reprezentată în figura 3.3.8.

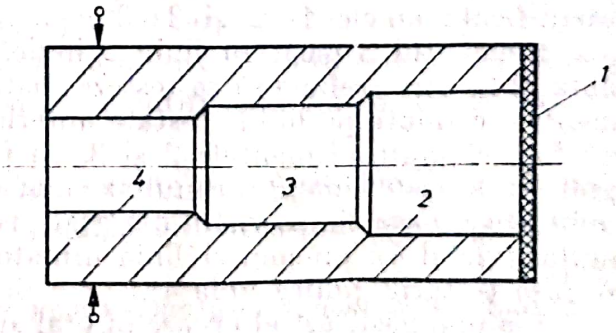


Fig. 3.3.6. Piesă cu alezaj în trepte.

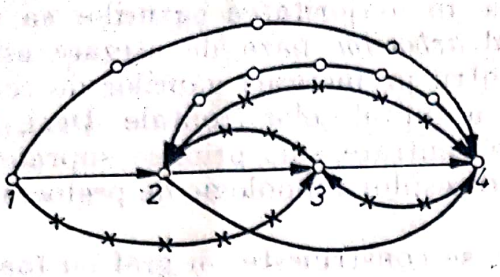


Fig. 3.3.7. Graful construit cu variantele de succesiuni posibile ale suprafețelor în vederea prelucrării lor.

X_j

X_i / A[I,J]=	1	2	3	4
1	0	2	3	4
2	0	0	3	4
3	0	2	0	4
4	0	2	3	0

Fig. 3.3.8. Matricea asociată grafului.

Liniile și coloanele matricei reprezintă vîrfurile grafului prin care trec drumurile hamiltoniene. Ele se completează astfel:

Se scrie 0 (zero) pe linia X_i și coloana X_j unde $X_i = X_j$ (pe diagonala matricei).

Se ia apoi linia $X_i = 1$ și se pune întrebarea: „există arc în graf de la 1 la 2“ ? Dacă există arc, atunci în coloana $j = 2$ se scrie valoarea lui j, adică 2, care reprezintă vîrful din graf prin care trece arcul de la 1 la 2. Apoi: „există arc în graf de la 1 la 3“ ? Dacă există, se scrie în coloana $j = 3$, și așa mai departe.

Se trece în continuare la linia $X_i = 2$ și se pune aceeași întrebare, apoi tot așa pînă la linia $X_i = n$.

Cu ajutorul matricei A, drumurile hamiltoniene din graful construit se determină în modul următor.

Prima suprafață care se prelucrează în faza *I* (suprafață aleasă de tehnolog) indică punctul inițial 1 din graf. La rîndul lui, acest vîrf indică linia 1 din matrice. Pe această linie se caută arce care au ca vîrf inițial în graf, vîrful 1. În acest scop, se testează elementele liniei 1 (adică se compară cu zero) și se reține primul element diferit de zero. Acesta este elementul 2, care indică arcul care pleacă din vîrful 1 în vîrful 2 al grafului.

Elementul 2 găsit indică de asemenea și linia 2 a matricei, linie în care trebuie să se caute arcul următor, care pleacă în același sens din vîrful 2 (găsit anterior), deoarece un drum hamiltonian, după cum se știe, trece numai o singură dată printr-un vîrf al grafului. Pentru a găsi acest vîrf se testează în linia 2 toate elementele diferite de zero și se găsește elementul 3. Acest element indică arcul din graf care pleacă din vîrful 2 în vîrful 3. Au fost astfel identificate arcele 1—2 și 2—3.

Elementul 3 găsit în linia 2 indică linia următoare din matrice (adică linia 3) în care trebuie să se testeze toate elementele acestei linii cu toate elementele reținute pe liniile testate anterior, adică pe liniile 1 și 2, linii în care au fost reținute elementele 2 și 3, ca fiind vîrfuri ale drumului parțial din graf. În această linie 3, primul element diferit de 2 și 3 este elementul 4 care indică în același timp: vîrful din graf prin care trece arcul următor al drumului (vîrful 4), precum și linia următoare din matrice în care trebuie să se facă testările (adică linia 4).

S-a mai găsit astfel un arc în graf și anume arcul care pleacă din vîrful 3 în vîrful 4 (deci arcul 3—4).

Scanned with OKEN Scanner

Pînă acum au fost deja reținute elementele 1, 2, 3 și 4.

Se continuă testările în linia 4. În această linie se testează toate elementele din linie, cu elementele reținute pe liniile anterioare și se observă că nu există nici un element diferit de 1, 2, 3 și 4. Elementul 4 reținut în linia 3 este ultimul vîrf al primului drum hamiltonian din graf: 1—2—3—4.

După identificarea primului drum hamiltonian (*d.h*) se revine la antepenultimul vîrf al acestui drum (2), pentru a căuta și alte $d \cdot h$ care pleacă din vîrful 1 și trec prin vîrful 2.

Pentru acest lucru se testează în linia 2 elementul care este diferit de zero și de elementul care a indicat vîrful prin care a trecut arcul din 3 în primul *d.h* identificat. Din matricea *A* se observă că elementul din linia 2 diferit de cel reținut în testarea precedentă (care a fost elementul 3) este elementul 4. Deci, din linia 2 se reține elementul 4, care constituie vîrful următor din graf prin care va trece noul *d.h*, care este 1—2—4.

Acest element 4 indică linia 4 pe care se vor face testările cu zero, pentru a găsi elementul diferit de zero și care nu se găsește în drumul parțial identificat (și amintit mai sus). Se observă, că acest element este elementul 3, care va fi și vîrful prin care trece în continuare *d.h* căutat. Rezultă deci, că noul *d.h* este 1—2—4—3.

În graf există și alte drumuri hamiltoniene posibile. Pentru a le identifica, se revine la linia 1 pe care se testează cu zero elementele ei. Pe această linie se reține primul element diferit de zero mai mare decît primul element reținut în testările precedente făcute pe această linie (reamintim că elementul respectiv a fost elementul 2). Elementul care se va reține deci este elementul 3 și el indică vîrful 3 prin care trece drumul parțial 1—3.

Elementul 3 reținut indică linia 3-a din matricea *A* în care trebuie să se efectueze testările pentru a găsi elementul care va constitui următorul vîrf al drumului parțial. Testarea pe această linie 3 se face de asemenea cu zero și primul element întîlnit care se reține este elementul 2 deoarece el nu a fost reținut pe liniile precedente testate și nu constituie un vîrf al drumului parțial identificat (1—3). Deci, vîrful următor al noului drum hamiltonian este vîrful 2, care este tronsonul 1—3—2.

Elementul 2 reținut pe linia 3 indică linia din matricea *A* pe care urmează să se continue testările cu zero. Această linie este linia 2 și pe ea se identifică elementul 4, ca fiind mai mare decît elementele reținute pe liniile precedente (elemente care constituie, după cum se vede, vîrfuri ale tronsonului din drumul hamiltonian parțial identificat). Elementul 4 reținut constituie următorul și ultimul vîrf al drumului hamiltonian parțial care devine astfel: 1—3—2—4.

În graf, după cum se observă mai există un drum hamiltonian care pleacă din vîrful 1 și trece prin vîrful 3. Pentru identificarea lui se procedează ca în cazul precedent.

Procedînd în mod similar se identifică toate drumurile hamiltoniene din graf, drumuri care indică variantele posibile de succesiuni ale suprafețelor piesei pentru prelucrare.

Dintre aceste variante se va alege acea variantă care asigură cel mai mic cost al prelucrării echivalent cu suma lungimilor arcelor care compun dru-

Scanned with OKEN Scanner

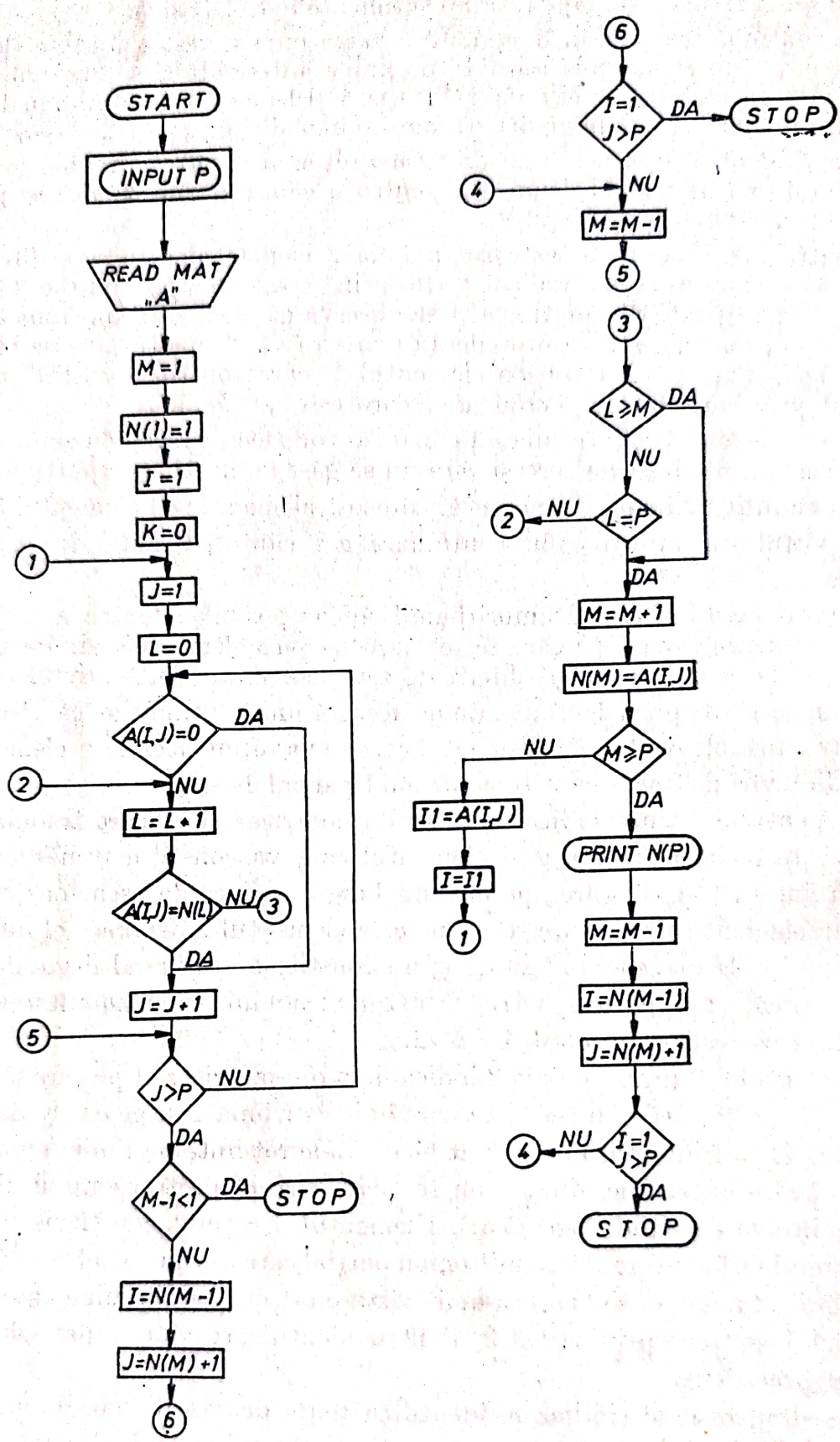


Fig. 3.3.9. Schemă logică a algoritmului *D.M.*

Scanned with OKEN Scanner

murile respective (deoarece arcelor din graf li s-au atribuit costurile prelucră. rii suprafeţelor respective în succesiunile indicate de drumul hamiltonian)-

Aplicarea algoritmului *DM* pentru identificarea variantelor optime de succesiune a suprafeţelor în vederea prelucrării lor, pentru piese simple este posibilă a se face şi manual. Pentru piese cu un număr mare de suprafeţe care trebuie prelucrate, aplicarea lui manuală este dificilă. Programarea algoritmului *DM* pe calculator se face pe baza schemei logice de calcul din figura 3.3.9.

3.4. PRESCRIEREA PROCEDEELOR ŞI A METODELOR TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE POSIBILE DE APLICAT PENTRU PRELUCRAREA SUPRAFEŢELOR ELEMENTARE ALE PIESEI REPREZENTATIVE A GRUPEI DE PIESE

Suprafeţele elementare ale piesei reprezentative a grupei de piese pot fi prelucrate, — în succesiunea optimă stabilită în etapa precedentă, — secvenţial, adică fiecare din ele în cîte o operaţie sau fază elementară, sau, pot fi prelucrate cîte *m* astfel de suprafeţe, *simultan*, în operaţii concentrate.

Prelucrarea suprafeţelor elementare ale piesei reprezentative se poate face, aşa cum s-a arătat, prin diverse procedee sau metode tehnologice cu costul corespunzător, în funcţie de:

— precizia dimensională şi rugozitatea prevăzute pe desenul de execuţie al piesei;

— utilajul corespunzător sau de cel avut la dispoziţie;

— numărul de bucăţi care trebuie executate în perioada de timp impusă.

Astfel, de exemplu, suprafeţele exterioare ale unui arbore în trepte (fie un arbore din cutia de viteze a unui autocamion) pot fi degroşate prin:

1 — strunjire, pe un: 1.1 — strung universal; 1.2 — strung de copiat; 1.2.1 — cu comandă numerică; 1.2.2 — fără comandă numerică; 1.3 — strung semiautomat sau automat cu mai multe cuţite simultan;

2 — frezare, pe o maşină specială de frezat suprafeţe exterioare de revoluţie, cu un complet de cîte 2.1 — două freze identice pentru fiecare treaptă a arborelui sau, 2.2 — o singură freză pentru fiecare treaptă a arborelui sau 2.3 — cu freză frontală;

3 — broşare cu o broşă 3.1 — liniară, sau 3.2 — circulară.

Pentru prelucrările de finisare ale suprafeţelor elementare exterioare ale aceluiaşi arbore, de asemenea se pot aplica mai multe procedee sau metode tehnologice de prelucrare, care la lucrul cu regimul optim de prelucrare pot asigura toleranţa şi rugozitatea suprafeţei prelucrate, prevăzute pe desenul de execuţie al piesei.

Dintre toate procedeele sau metodele tehnologice de prelucrare posibile de aplicat, tehnologul trebuie să prevadă în procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare, în fiecare operaţie, acel procedeu sau metodă tehnologică care asigură *costul minim de prelucrare într-o anumită succesiune*.

Determinarea variantelor succesiunilor de procedee sau de metode tehnologice de prelucrare pentru fiecare operaţie, care asigură, la lucrul cu regimul optim de aşchiere, toleranţa şi rugozitatea prescrisă pe desenul de execuţie, cu costul minim de prelucrare, se poate face după următorii doi algoritmi (elaboraţi de şcoala noastră).

Scanned with OKEN Scanner

3.5. DETERMINAREA SUCCESIUNII OPTIME A PROCEDEELOR SAU A METODELOR TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE A SUPRAFEȚELOR ELEMENTARE ALE PIESEI REPREZENTATIVE PENTRU A OBȚINE DIN SEMIFABRICAT PIESA FINITĂ

3.5.1. ALGORITMUL DR PENTRU DETERMINAREA VARIANTELOR DE SUCCESIUNE DE PROCEDEE SAU METODE TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE A SUPRAFEȚELOR ELEMENTARE A PIESEI REPREZENTATIVE, FUNCȚIE DE TOLERANȚA ȘI RUGOZITATEA PRESCRISĂ PE DESENUL DE EXECUȚIE AL PIESEI

Realizarea toleranțelor dimensiunilor și a rugozității unei suprafețe prescrisă pe desenul de execuție al piesei se poate face prin diverse procedee sau metode tehnologice de prelucrare într-o operație și mai multe faze sau în mai multe operații, într-o succesiune bine determinată.

Alegerea procedeelor sau a metodelor tehnologice de prelucrare pentru prelucrarea suprafețelor piesei în fiecare operație sau fază a unei operații este funcție de următorii factori:

— numărul de piese care trebuie prelucrate în unitatea de timp sau într-o anumită perioadă de timp, sau de mărimea ritmului liniei tehnologice;

— condițiile tehnice impuse piesei pe desenul de execuție;

— precizia dimensională și rugozitatea suprafețelor piesei;

— numărul suprafețelor care trebuie prelucrate și dispunerea lor reciprocă;

— mărimea coeficientului de precizie k_{p_t} total care trebuie să se realizeze în urma prelucrării fiecărei suprafețe a piesei, prin procedeele sau metodele tehnologice aplicate;

— mărimea coeficientului de precizie k_p asigurată de diversele procedee sau metode tehnologice de prelucrare;

— indicii tehnico-economici care caracterizează fiecare mod de prelucrare în parte.

Coeficientul de precizie k_p se calculează cu relația:

$$k_p = \frac{\delta_s}{\delta_p}$$

în care: δ_s reprezintă toleranța dimensiunii semifabricatului, în mm; δ_p — toleranța dimensiunii suprafeței care se prelucrează, impusă pe desenul de execuție, în mm.

Este greu și în unele cazuri chiar imposibil, atunci cînd toleranța dimensiunii este de ordinul micronilor și rugozitatea de asemenea foarte mică, să se obțină coeficientul de precizie impus printr-un singur procedeu sau metodă tehnologică de prelucrare, deoarece dimensiunea semifabricatului și toleranța acesteia diferă mult de dimensiunea, toleranța și rugozitatea piesei finite.

De aceea, coeficientul de precizie total k_{p_t} impus se obține printr-o succesiune de cîteva procedee sau metode tehnologice de prelucrare, el fiind egal cu produsul coeficienților de precizie corespunzători fiecărei prelucrări.

Astfel:
$$k_{p_t} = k_{p_1} \cdot k_{p_2} \cdot \ldots \cdot k_{p_n},$$

în care:
$$k_{p_1} = \frac{\delta_s}{\delta_{p_1}}; \quad k_{p_2} = \frac{\delta_{p_1}}{\delta_{p_2}}; \quad k_{p_n} = \frac{\delta_{p_{n-1}}}{\delta_{p_n}},$$

Scanned with OKEN Scanner

1, 2, ..., n— fiind procedeele sau metodele tehnologice de prelucrare aplicate în fiecare operație sau fază a operației pentru obținerea din semifabricat a piesei finite.

Se observă din relațiile coeficienților de precizie parțiali, că toleranța la dimensiunea obținută în operația precedentă intervine în calculul coeficientului de precizie k_p în operația curentă, ca fiind similară toleranței dimensiunii semifabricatului din care urmează să se obțină piesa finită.

Întrucît prelucrarea unei suprafețe pentru a ajunge la forma și dimensiunea finală se poate face prin mai multe procedee sau metode tehnologice de prelucrare, *se va alege acea succesiune de procedee sau metode tehnologice de prelucrare care asigură obținerea coeficientului de precizie total* k_{pt} *impus, cu cel mai mic cost pentru prelucrarea unei suprafețe.*

În felul acesta se obțin mai multe variante de succesiuni de procedee sau metode tehnologice de prelucrare care asigură obținerea coeficientului de precizie impus unei suprafețe, însă cu costuri diferite. Astfel:

$$k_{pt_1} = k_{p_{11}}\ k_{p_{12}}\ k_{p_{13}} \dots k_{p_{1m}};$$
$$k_{pt_2} = k_{p_{21}}\ k_{p_{22}} k_{p_{23}} \dots k_{p_{2p}};$$
$$\vdots$$
$$k_{pt_n} = k_{p_{n_1}}\ k_{p_{n_2}}\ k_{p_{n_3}} \dots k_{p_{ns}},$$

în care 1, 2, 3, ..., m; 1, 2, 3, ..., p; 1, 2, 3,..., s reprezintă numărul procedeelor sau a metodelor tehnologice de prelucrare aplicate în cele 1, 2, 3, ..., n variante de succesiuni de procedee sau metode tehnologice de prelucrare a unei suprafețe sau grup de suprafețe identice sau prelucrate simultan sau succesiv (fiecare variantă de succesiuni de procedee sau metode tehnologice fiind constituită dintr-un șir de produse de procedee sau metode tehnologice în succesiunea prevăzută).

În cazul cel mai general numărul de procedee sau metode tehnologice de prelucrare m, p și s din fiecare din cele n variante, poate să fie diferit, adică $m \neq p \neq \dots \neq s$.

Se poate însă face, ca $m = p = \dots = s$, introducînd în șirul produselor coeficienților de precizie al unei variante atîția coeficienți de precizie $k_p = 1$ cîți indică diferența $m - p$, respectiv $m - s$, în cazul în care $m > p$ și $m > s$ sau $p - m$ și $s - m$ cînd $p > m$ și $s > m$.

Pentru a se determina, dintre cele n variante, varianta optimă de succesiune de procedee sau metode tehnologice de prelucrare a suprafeței se pot combina unele procedee sau metode tehnologice de prelucrare dintr-o variantă, cu procedee sau metode tehnologice de prelucrare din altă sau alte variante.

În urma acestor combinații vor rezulta v variante noi de prelucrare, dintre care urmează să se determine și să se aplice, așa cum s-a arătat, *varianta optimă*, care asigură atît *precizia* cît și *rugozitatea* impusă pe desenul piesei, realizată *cu un cost minim.*

Fiecare procedeu sau metodă tehnologică de prelucrare care la prelucrarea cu regimul optim de prelucrare asigură obținerea unei anumite rugozități, reclamă asigurarea unei anumite rugozități, a unei anumite valori a adaosului de prelucrare și a unei anumite valori a preciziei dimensionale de către procedeul sau metoda tehnologică de prelucrare aplicată în operația sau faza precedentă.

Astfel, de exemplu: pentru realizarea unei rugozități $R_z = 0{,}05$ μm și a unei toleranțe $\delta_D = 2$ μm se poate aplica prelucrarea prin lepuire, însă, pentru a fi posibilă aplicarea acestui procedeu tehnologic de prelucrare, este

Scanned with OKEN Scanner

$A[I,J] =$

Kp_{11}	Kp_{12}	Kp_{13}	...	...	...	...	Kp_{1m}
Kp_{21}	Kp_{22}	Kp_{23}	...	...	...	Kp_{2p}	1
⋮							
⋮							
⋮							
⋮							
⋮							
Kp_{n1}	Kp_{n2}	Kp_{n3}	...	...	...	1	1

Fig. 3.5.1. Matricea coeficienților de precizie.

$B[I,J] =$

Rz_{11}	Rz_{12}	Rz_{13}	...	...	...	...	Rz_{1m}
Rz_{21}	Rz_{22}	Rz_{23}	...	...	∞	∞	∞
⋮							
⋮							
⋮							
⋮							
⋮							
Rz_{n1}	Rz_{n2}	Rz_{n3}	...	...	Rz_{ns}	∞	∞

Fig. 3.5.2. Matricea rugozităților.

necesar ca în operația precedentă pe suprafața prelucrată printr-un procedeu oarecare să nu se lase un adaos de prelucrare mai mare 5—20 μm, iar toleranța δ_D la diametru să nu fie mai mare de 15 μm.

Considerînd, că o anumită prelucrare nu se poate face în urma alteia, dacă precedenta prelucrare nu asigură o anumită rugozitate, se poate lua și *rugozitatea* drept *criteriu tehnologic* de determinare a succesiunii procedeelor sau metodelor de prelucrare a unei suprafețe.

Pentru determinarea variantei optime de succesiune de procedee sau metode tehnologice de prelucrare a unei suprafețe, atît coeficienții de precizie cît și rugozitățile se dau sub formă matriceală, în modul următor:

În matricea $A[I, J]$ a coeficienților de precizie, cifra 1 s-a prevăzut în liniile incomplete, adică la acele variante pentru care numărul de prelucrări (de procedee sau metode tehnologice de prelucrare) este mai mic decît m, în care m reprezintă numărul cel mai mare de prelucrări.

În matricea $B[I, J]$ a rugozităților, semnul ∞ s-a prevăzut în liniile incomplete, ca fiind o rugozitate imaginară a procedeelor sau metodelor tehnologice de prelucrare care nu sînt prevăzute în matrice.

Cu datele din cele două matrice se pot realiza diverse combinații de variante de prelucrări a unei suprafețe cu procedeele sau metodele tehnologice de prelucrare respective. Unele din aceste combinații sînt posibil de aplicat altele nu. Astfel, varianta următoare

$$k_{p_{11}}\ k_{p_{12}}\ k_{p_{13}} \ldots k_{p_{2p}}\ 1\ k_{p_{1m}}$$

nu este posibil de aplicat, deoarece între procedeele cu coeficientul de precizie $k_{p_{2p}}$ și $k_{p_{1m}}$ există în matrice un spațiu liber simbolizat prin cifra 1.

În schimb este posibilă combinația:

$$k_{p_{21}}\ k_{p_{12}}\ k_{p_{23}} \ldots k_{p_{2p}} \ldots k_{p_{1m}}.$$

Din matricea $B[I, J]$ a rugozităților se pot constitui următoarele variante:

— variantă posibilă:

$$R_{z_{11}},\ R_{z_{12}},\ \ldots,\ R_{z_{23}} \ldots,\ R_{z_{2p}},\ R_{z_{1m}};$$

— variantă imposibilă:

$$R_{z_{n1}},\ R_{z_{n2}},\ R_{z_{23}},\ \ldots,\ R_{z_{n4}},\ \infty,\ R_{z_{1m}}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Prin însumarea tuturor variantelor de succesiuni de procedee sau metode tehnologice de prelucrare din fiecare operație (de la prima pînă la ultima operație) se obțin tot atîtea variante de procese tehnologice de prelucrare.

3.5.1.1. **Aplicație exemplificatorie.** Fie, ca dintr-o bară calibrată cu diametrul $D_s^{+0\,280}$ mm să se execute un arbore cu două trepte, reprezentat în figura 3.5.3.

Se observă din figura de mai sus, că toleranța diametrului de 25 mm este de 0,002 mm, iar rugozitatea impusă este $R_z = 0{,}05$ μm.

Rugozitatea respectivă se poate obține fie prin lepuire, fie prin superfinisare.

Deci, pentru a se obține piesa cu toleranța (δ_{ip}) și rugozitatea impusă $R_z = 0{,}05$ μm, este necesar, ca în urma prelucrării să se obțină coeficientul de precizie:

$$k_p = \frac{\delta_s}{\delta_{ip}} = \frac{280}{2} = 140.$$

Superfinisarea prin natura ei, poate asigura obținerea rugozității impuse, însă nu și a toleranței, deoarece procesul de așchiere se întrerupe automat, în momentul în care au fost îndepărtate microasperitățile de pe suprafața piesei.

Lepuirea, spre deosebire de superfinisare, permite a se obține, în condiții economice, nu numai rugozitatea impusă, ci și toleranța la diametrul suprafeței lepuite, cu condiția ca în operația precedentă să nu se lase, pentru lepuire, un adaos de prelucrare mai mare de 5 ... 20μm pe diametru, iar toleranța diametrului să fie: $\delta_p = 15$ μm.

Coeficientul de precizie obținut în urma lepuirii în condițiile arătate, este:

$$k_{p_1} = \frac{\delta_{ip-1}}{\delta_{ip}} = \frac{15}{2} = 7{,}5.$$

Dacă se compară valoarea coeficientului de precizie obținut ($k_{p_1} = 7{,}5$) cu valoarea coeficientului de precizie total ($k_{pt} = 140$), se observă, că nu este posibilă obținerea piesei finite din semifabricatul dat, numai printr-o lepuire.

Este necesar în acest caz, a se aplica încă una sau cîteva procedee sau metode tehnologice de prelucrare, care pot, în condiții economice, asigura obținerea unui coeficient de precizie intermediar (k_{p_i}) egal cu:

$$k_{p_i} = \frac{k_{pt}}{k_{p_1}} = \frac{140}{7{,}5} = 18{,}6.$$

Pentru cazul concret dat, pentru scopul urmărit se poate aplica rectificarea de degroșare, care poate asigura o toleranță la diametru egală cu $\delta_{Dr} = 100$ μm.

Mărimea coeficientului de precizie rezultat în urma rectificării este:

$$k_{p_r} = \frac{\delta_s}{\delta_{Dr}} = \frac{280}{100} = 2{,}8.$$

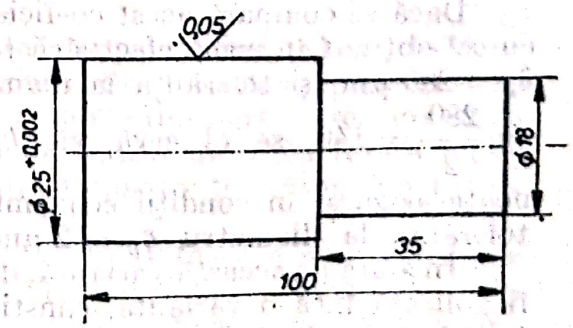


Fig. 3.5.3. Arbore în trepte confecționat dintr-o bară trasă calibrată.

Scanned with OKEN Scanner

Coeficientul de precizie total rezultat în urma prelucrării prin rectificare și lepuire este:

$$k_{p_{t_3}} = k_{p_1} \cdot k_{p_2} = 7{,}5 \cdot 2{,}8 = 21,$$

mult mai mic decît coeficientul de precizie total necesar $k_{p_t} = 140$.

Se impune deci, ca între lepuirea de finisare și rectificarea de degroșare să se mai facă o prelucrare, care să asigure un coeficient de precizie intermediar, egal cu:

$$k_{p_3} = \frac{k_{p_t}}{k_{p_{t_3}}} = \frac{140}{21} = 6{,}8.$$

Așa cum s-a arătat mai sus, prelucrarea prin lepuire se poate aplica după o prelucrare de rectificare, numai dacă aceasta din urmă poate asigura o precizie la diametru egală cu $\delta_{Dr} = 15$ μm, ori, rectificarea de degroșare nu poate asigura decît o toleranță de 100 μm.

Rezultă, că este necesar, să se aplice după rectificarea de degroșare, o rectificare de semifinisare care asigură obținerea unei precizii de prelucrare de 31,5—8 μm, sau pentru o mai mare siguranță se poate aplica și o rectificare de finisare, în urma căreia se obține o precizie dimensională egală cu 2,5—1,25 μm.

Deci, procesul tehnologic de prelucrare va fi constituit din următoarele operații în ordine inversă succesiunii operațiilor:

1 — lepuire foarte fină, în urma căreia se obține $R_z = 0{,}05$ μm și $\delta_D = 2$μm;

2 — lepuire fină, cu $R_z = 0{,}5 - 0{,}25$ μm și $\delta_{Dr} = 3{,}33$ μm;

3 — lepuire de degroșare, cu $R_z = 0{,}8 - 0{,}5$ și $\delta_{Dr} = 4 - 2{,}5$ μm;

4 — rectificare de finisare pe mașină de rectificat, cu $R_z = 6{,}3 - 1{,}6$ μm și $\delta_{Dr} = 31{,}5 - 8$ μm;

5 — rectificare de degroșare, cu $R_z = 20 - 6{,}3$ μm și $\delta_D = 100 - 31{,}5$ μm.

Coeficienții de precizie parțiali, rezultați de la o operație la alta sînt:

$$k_{p_1} = \frac{3{,}33}{2} = 1{,}67; \quad k_{p_2} = \frac{6{,}66}{3{,}33} = 2; \quad k_{p_3} = \frac{26{,}6}{6{,}66} = 4;$$

$$k_{p_4} = \frac{53{,}3}{26{,}6} = 2; \quad k_{p_5} = \frac{280}{53{,}3} = 5{,}25,$$

iar coeficientul de precizie total rezultă:

$$k_{p_t} = k_{p_1} \cdot k_{p_2} \cdot k_{p_3} \cdot k_{p_4} \cdot k_{p_5} = 1{,}67 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 5{,}25 = 140{,}37.$$

Dacă se compară acest coeficient de precizie total rezultat, $k_{p_t} = 140{,}37$ cu cel obținut în urma efectuării raportului dintre toleranța semifabricatului $\delta_s = 280$ μm, și toleranța la diametrul piesei finite $\delta_D = 2$ μm, adică $k_p = \frac{280}{2} = 140$, se observă, că, $k_p < k_{p_t}$. Deci procesul tehnologic aplicat poate asigura, în condiții economice, atît rugozitatea $R_z = 0{,}05$ μm, cît și toleranța la diametru $\delta_D = 2$ μm.

În afară de această variantă, de proces tehnologic de prelucrare mai poate fi aplicată încă o variantă, constituită din următoarele operații, prezentate la fel în ordinea inversă succesiunii lor:

1 — superfinisare în urma căreia se obține, $R_z = 0{,}05$ μm și $\delta_D = 2$ μm;

Scanned with OKEN Scanner

2 — rectificare de finisare, pe mașină de rectificat fără centre, cu

$$R_z = 6{,}3 - 1{,}6\ \mu m \text{ și } \delta_D = 31{,}5 - 8\ \mu m;$$

3 — rectificare de degroșare, pe același fel de mașină, cu

$$R_z = 20 - 6{,}3\ \mu m \text{ și } \delta_D = 100 - 31{,}5\ \mu m.$$

Coeficienții de precizie parțiali rezultați în urma prelucrărilor în operațiile enumerate sînt:

$$k_{p_1} = \frac{6{,}66}{2} = 3{,}33; \quad k_{p_2} = \frac{26{,}6}{6{,}66} = 4; \quad k_{p_3} = \frac{53{,}3}{26{,}6} = 2;$$

$$k_{p_4} = \frac{280}{53{,}3} = 5{,}25.$$

iar coeficientul de precizie total este:

$$k_{pt} = k_{p_1} \cdot k_{p_2} \cdot k_{p_3} \cdot k_{p_4} = 3{,}33 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 5{,}25 = 149{,}94 \approx 140.$$

Deci, și după această variantă de proces tehnologic se poate asigura rugozitatea și precizia dimensională impusă piesei respective.

Dintre aceste două variante studiate trebuie să se aleagă varianta care asigură costul minim. Pentru a face acest lucru, trebuie să se calculeze costurile parțiale și costul total al fiecăreia din cele două variante, să se compare între ele și bine înțeles să se aleagă varianta cu costul total minim.

Pentru a putea fi posibilă determinarea variantei optime (și a încă 2—3 variante cu costul mai mare) de procedee sau metode tehnologice de prelucrare, pentru a obține din semifabricat piesa finită, trebuie să se întocmească un tabel centralizator (tab 3.5.1) în care să se înscrie: — suprafețele elementare ale piesei în succesiunea stabilită cu ajutorul algoritmului DM1, cu codurile lor; — dimensiunile suprafețelor elementare; — toleranțele și rugozitățile impuse; — procedeele tehnologice de prelucrare *posibile de aplicat*, pentru prelucrarea succesivă a fiecărei suprafețe elementare, sau prelucrarea simultană a unui grup de suprafețe elementare, cu codurile lor; — clasele de precizie și rugozitățile economice pe care le poate asigura fiecare procedeu sau metodă tehnologică de prelucrare; — utilajul corespunzător fiecărui procedeu sau metode tehnologice de prelucrare, cu codul lor; costul unui minut de lucru pe utilajul respectiv; -SDV-urile aferente, cu codurile lor; — regimurile de așchiere preluate din normative; — norma tehnică de timp pentru fiecare prelucrare; — costurile parțiale și costul total de prelucrare pentru fiecare procedeu sau metodă tehnologică prevăzută în coloana 7 a tabelului; — numărul de ordine al procedeului sau a metodei tehnologice de prelucrare funcție de costul prelucrării.

Cu ajutorul algoritmului DM2 (prezentat în paragraful 3.1.1.), folosind toate datele din tabelul centralizator întocmit de tehnolog, manual sau cu ajutorul calculatorului electronic pe baza unui subprogram, se determină varianta optimă a procesului tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative, precum și încă 2, 3 variante ordonate crescător funcție de costul total de prelucrare.

În paragrafele următoare se prezintă în ordinea în care sînt prevăzute în tabelul centralizator modul de alegere a utilajului (3.6); — modul de prescriere a regimului de așchiere din normative (3.7); — modul de calcul a normei tehnice de timp (3.8); — a calculului unui minut-mașină (3.9), precum și a costurilor parțiale și totale.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.5.1

Tabel pentru determinarea succesiunii procedeelor şi a metodelor tehnologice de prelucrare, precum şi a variantelor procesului tehnologic optim tipizat pentru prelucrarea piesei reprezentative.

Nr. operaţiei	Suprafaţa elementară	Codul suprafeţei elementare	Codul suprafeţei luată ca bază tehnologică	Dimensiunea suprafeţei elementare	Toleranţa impusă Ti [mm]	Rugozitatea impusă Ri	Procedeul	Codul procedeului	Clasa de precizie P	Rugozitatea economică Re	Utilajul		Costul unui minut de lucru pe utilajul respectiv [lei/minut]	Scule	
											Denumirea	Cod.		Denumire	Cod.
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Tabelul 3.5.1 (continuare)

Dispozitve		Verificatoare		Regim de aşchiere				Norma tehn. de timp (τ_{buc}). $\left[\frac{min}{buc}\right]$	Costuri parţiale				Costul total $\left[\frac{bani}{buc.}\right]$	Nr. ordin al procedeului funcţie de costul prelucrării
Denumire	Cod.	Denumire	Cod	v $\left[\frac{m}{min}\right]$	(n) $\left[\frac{rot}{mm}\right]$	s $\left[\frac{mm}{rot}\right]$	t mm		C_T	C_a	C_{IT}	C_{SDV}		
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Scanned with OKEN Scanner

3.5.2. ALGORITMUL DT PENTRU DETERMINAREA VARIANTELOR DE SUCCESIUNE DE PROCEDEE SAU METODE TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE A SUPRAFEȚELOR ELEMENTARE ALE PIESEI REPREZENTATIVE, FUNCȚIE DE TOLERANȚA ȘI RUGOZITATEA ECONOMICĂ

Acest al doilea algoritm pentru determinarea succesiunii procedeelor sau a metodelor tehnologice de prelucrare a suprafețelor elementare ale piesei reprezentative a unei clase sau grupe de piese, pentru a se asigura *transformarea semifabricatului* în *piesă finită*, ține seama, ca și primul algoritm DM, de *toleranța* și *rugozitatea suprafeței prelucrate* pe care o poate asigura în condiții optime fiecare procedeu sau metodă tehnologică de prelucrare care este posibil a fi aplicată. *Toleranța* δ_E și *rugozitatea* respectivă R_{a_E} se compară cu *toleranța* δ_I și cu *rugozitatea* R_{a_I} impusă pe desenul de execuție al piesei.

Pentru ca un procedeu sau metodă tehnologică să poată fi aplicată se compară toleranța economică δ_E cu toleranța impusă pe desenul de execuție δ_I, precum și rugozitatea economică R_{a_E} cu cea impusă R_{a_I}, între care trebuie să existe următoarele relații:

$$\delta_E \leqslant \delta_I, \text{ respectiv } R_{a_E} \leqslant R_{a_I}.$$

Procedeele și metodele tehnologice de prelucrare care nu satisfac relațiile de mai sus, nu se înscriu în tabelul 3.5.1 deoarece nu asigură condițiile de precizie și calitate impuse suprafeței elementare respective.

Procedînd astfel pentru toate suprafețele elementare ale piesei, respectiv pentru toate operațiile procesului tehnologic de prelucrare și însumînd procedeele și metodele tehnologice de prelucrare găsite pentru fiecare suprafață elementară în parte sau grup de suprafețe care se prelucrează într-o operație, se găsește *varianta economică de proces tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative* a clasei sau grupei de piese respective.

Calculul toleranțelor și a rugozităților economice δ_E *și* R_{a_E} *a suprafețelor elementare prelucrate.* Calculul toleranțelor δ_E și rugozităților R_{a_E} economice se poate efectua manual sau cu ajutorul calculatorului electronic.

În cazul în care acest calcul se efectuează cu ajutorul calculatorului electronic, trebuie să se implementeze în memoria acestuia tabelele cu abaterile fundamentale corespunzătoare claselor de precizie atît pentru arbori cît și pentru alezaje. Aceste tabele se găsesc în [15]. Pentru arbori clasa *h* și alezaje clasa *H*, abaterile fundamentale corespunzătoare claselor respective sînt redate în tabelele 3.5.2 și 3.5.3.

Tabelul 3.5.2

Valorile toleranțelor fundamentale pentru preciziile 5—16 funcție de unitatea de toleranță

Simbolul toleranței fundamentale	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Valori în μm	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i

$$i = 0{,}45 \sqrt[3]{D} + 0{,}001\ D$$

i este unitatea de toleranță exprimată în μm;
D este media geometrică, exprimată în mm, a intervalului de dimensiuni nominale.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a se prezenta modul de calcul al toleranţei economice pentru arbori, se redă mai jos, parţial tabelul 3.5.4.

Tabelul 3.5.3

Valorile toleranţelor pentru preciziile 01, 0 şi 1

Simbolul toleranţei fundamentale	IT01	IT0	IT1
Valori în μm, pentru D în mm	$0{,}3 + 0{,}008D$	$0{,}5 + 0{,}012D$	$0{,}8 + 0{,}020D$

Tabelul 3.5.4

Fragment din tabelul cu toleranţele economice pentru arbori, din [15]

$T[i, j] =$

	1	2	3	4	5	6
1	P / D [mm]	h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}
2	Pînă la 3	0,006	0,010	0,014	0,025	0,040
3	3—6	0,008	0,012	0,018	0,030	0,048
4	6—10	0,009	0,015	0,022	0,036	0,058
5	10—18	0,011	0,018	0,027	0,043	0,070

În tabelul 3.5.4, P reprezintă clasa de precizie, iar D diametrul nominal, în mm. La intersecţia claselor de precizie P cu intervalele de dimensiuni ale diametrelor, se află *toleranţele* sau *abaterile economice*, exprimate în mm.

Astfel, de exemplu, dacă suprafaţa elementară care se prelucrează are diametrul $D = 9$ mm şi se execută în clasa de precizie $P = h8$, pentru a se găsi toleranţa economică δ_E cu ajutorul calculatorului electronic:

— se testează mai întîi dacă dimensiunea D depăşeşte limita superioară a intervalelor de dimensiuni înscrise în tabel. Testarea se face astfel: $D \leqslant 3$?

Nu; $D \leqslant 6$? Nu; $D \leqslant 10$? DA, deoarece $D = 9$ mm. Deci, se reține linia $I = 4$ a tabelului $T\,[I, J]$;

— se testează apoi coloanele tabelului respectiv pentru a se găsi coloana corespunzătoare clasei de precizie indicată ($P = \text{h8}$). Se pune astfel întrebarea: $P = \text{h6}$? Nu; $P = \text{h7}$? Nu; $P = \text{h8}$? DA. Deci, se reține coloana $J = 4$.

Rezultă, că *toleranța economică* δ_E cu care se execută diametrul arborelui $D = 9$ mm, în clasa de precizie $P = \text{h8}$ este:

$$\delta_E = TE = T[4,4] = 0{,}022 \text{ mm}.$$

Rugozitatea medie economică R_{aE} se calculează în funcție de raportul admis între *aceasta* și *toleranța dimensiunii suprafeței prelucrate.*

Acest raport are diverse valori în următoarele țări. Astfel, pentru cele mai des utilizate îmbinări, normativele din:

— U.R.S.S. recomandă a fi egal cu 0,10—0,12 pentru ajustaje cu strîngere, iar pentru ajustaje alunecătoare: 0,05—0,07;

— cele din R.F.G. prevăd $R_a/\delta = 0{,}2$;

— cele din Olanda: $R_a/\delta = 0{,}1$ și pentru cazuri deosebite raportul respectiv se micșorează pînă la 0,02.

Deci, rugozitatea medie economică se calculează cu relația:

$$R_{aE} = \delta_E(0{,}02 \ldots 0{,}2) = TE(0{,}02 \ldots 0{,}2),$$

funcție de calitatea ajustajului impus.

Manual, procedeele și metodele tehnologice de prelucrare și succesiunea lor în cadrul operațiilor, începînd de la prima și pînă la ultima operație (sau în cadrul unei operații începînd cu prima pînă la ultima fază) se determină, așa cum s-a arătat, funcție de toleranța pe care o poate asigura, în condiții economice (adică la lucrul cu regimul de așchiere optim) fiecare procedeu sau metodă tehnologică de prelucrare prevăzut/prevăzută a fi aplicat/ aplicată pentru prelucrarea fiecărei suprafețe elementare a piesei reprezentative.

Toleranța economică se calculează funcție de clasa de precizie pe care o poate asigura procedeul sau metoda tehnologică de prelucrare prevăzută a fi aplicată, utilizînd tabelul 3.5.1 în care este indicată *clasa de precizie* respectivă, precum și *rugozitatea economică* a suprafeței prelucrate. Pentru calculul toleranței respective se utilizează și tabelul 3.5.2 care conține *abaterile fundamentale* (toleranțele) ale *dimensiunilor funcție de clasele de precizie.*

Cunoscînd toleranța dimensiunii suprafeței elementare analizate, prevăzută pe desenul de execuție se verifică dacă este satisfăcută relația: $\delta_E \leqslant \delta_I$, respectiv $R_{aE} \leqslant R_{aI}$.

Dacă această condiţie este satisfăcută de mai multe procedee şi metode tehnologice de prelucrare, ele toate se înscriu în tabelul centralizator 3.5.1. deoarece, din toate urmează să se aleagă procedeul sau metoda tehnologică care asigură *costul minim*, aplicînd algoritmul DM2.

3.6. ALEGEREA UTILAJULUI ŞI A ECHIPAMENTULUI TEHNOLOGIC NECESAR PENTRU FIECARE PROCEDEU SAU METODĂ TEHNOLOGICĂ DE PRELUCRARE PRESCRISĂ PENTRU PRELUCRAREA SUPRAFEŢELOR ELEMENTARE ALE PIESEI REPREZENTATIVE

3.6.1. DETERMINAREA DOMENIULUI DE UTILIZARE ECONOMICĂ A MAŞINILOR-UNELTE UNIVERSALE CLASICE ŞI A CELOR CU COMANDĂ NUMERICĂ (CN)

Costul maşinilor-unelte cu comandă după program fiind de aproape trei ori mai mare decît al maşinilor-unelte obişnuite, impune inginerilor tehnologi utilizarea lor numai în acele cazuri, în care se asigură un cost al pieselor prelucrate mai mic decît cel obţinut dacă prelucrarea s-ar fi făcut pe maşini-unelte obişnuite.

Cu toate că maşinile-unelte cu comandă program oferă avantaje economice mari faţă de maşinile-unelte obişnuite, totuşi în anumite împrejurări acestea din urmă asigură un cost mai mic al pieselor prelucrate.

Din această cauză, atunci cînd se dispune de maşini-unelte cu comandă după program, trebuie determinat pe baza unui calcul economic domeniu de utilizare economică a lor.

Înainte de a se prezenta modul de calcul cu ajutorul căruia se determină domeniul de utilizare economică a *MUCN* (maşinilor-unelte cu comandă numerică) se reamintesc sursele prin care ele oferă economii faţă de maşinile-unelte obişnuite, economii care compensează costul lor mare.

Astfel, utilizarea *MUCN* conduce la:

— reducerea cheltuielilor de pregătire a producţiei legate în special de micşorarea necesităţii de dispozitive şi scule speciale;

— reducerea volumului total de muncă necesar executării pieselor, pe seama eliminării operaţiilor de trasaj, a micşorării timpului auxiliar de reglare a maşinii şi de control;

— reducerea timpului de lucru pentru asamblarea pieselor prin eliminarea operaţiilor de ajustare, datorită preciziei ridicate de prelucrare care se obţine la prelucrarea pieselor pe aceste maşini;

— reducerea termenelor de livrare a pieselor, datorită în primul rînd reducerii perioadei de pregătire a fabricaţiei. Pregătirea şi întocmirea pro-

Scanned with OKEN Scanner

gramului (a benzilor perforate, magnetice sau a cartotecilor perforate) chiar și pentru cele mai complicate procese de prelucrare poate fi realizată în cîteva zile sau chiar ore, în timp ce la lucrul pe mașini-unelte obișnuite timpul necesar pregătirii fabricației este de cîteva săptămîni sau chiar luni;

— cheltuieli mici legate de modificările constructive făcute piesei pe parcursul desfășurării procesului de fabricație, ca de exemplu modificarea distanței dintre centrele găurilor sau modificarea formei geometrice a piesei. Făcînd prelucrarea pe mașini-unelte cu comandă după program, modificările constructive care se fac piesei atrag după sine cheltuieli minime, deoarece aceste modificări implică doar, fie numai înlocuirea părții corespunzătoare din banda perforată, fie chiar executarea din nou a unei benzi perforate (sau în general a purtătorului de program) în întregime. Acest lucru în orice caz costă incomparabil mai puțin decît modificarea dispozitivului utilizat sau executarea unui dispozitiv nou sau a unor scule speciale;

— micșorarea spațiului necesar depozitării dispozitivelor, întrucît numărul acestora se reduce foarte mult atunci cînd prelucrarea pieselor se face pe *MUCN*.

Determinarea domeniului de utilizare economică a *MUCN* se face cu ajutorul metodei de determinare a mărimii lotului de piese pentru care costul este același, atît la prelucrarea pe *MUCN* cît și pe mașini-unelte obișnuite.

Costul lotului de piese poate fi exprimat prin următoarea relație simplificată:

$$C = C_{pf} + x(\tau_{buc} M + A), \tag{3.6.1}$$

în care C_{pf} sînt cheltuielile de pregătire a fabricației, în care intră cheltuielile făcute cu întocmirea programului pentru lucrul pe *MUCN*, respectiv cheltuielile făcute cu proiectarea și executarea *SDV*-urilor la prelucrarea pe mașini-unelte obișnuite; x — numărul de piese din lotul de piese care se prelucrează; τ_{buc} — timpul de lucru pe bucată; M — costul unei ore-mașină, incluzînd în aceasta și amortizarea utilajului, reparația acestuia precum și costul energiei electrice; A — costul controlului pieselor, costul lucrărilor de ajustare și asamblare raportate la o piesă.

La prelucrarea pe *MUCN* costul lotului de piese după relația (3.6.1) este egal cu:

$$C_{cm} = C_{pf}^{cn} + x(\tau_{buc}^{cn} M^{cn} + A^{cn}), \tag{3.6.2}$$

iar la prelucrarea pe mașini-unelte obișnuite a aceluiași lot de piese va fi:

$$C_{mo} = C_{pf}^{mo} + x(\tau_{buc}^{mo} M^{mo} + A^{mo}). \tag{3.6.3}$$

Egalînd relațiile (3.6.2) și (3.6.3) se obține numărul x de piese pentru care costul lotului este egal la prelucrarea pe cele două tipuri de mașini:

$$x_{k_e} = \frac{C_{pf}^{mo} - C_{pf}^{cn}}{(\tau_{buc}^{cn} M^{cn} + A^{cn}) - (\tau_{buc}^{mo} M^{mo} + A^{mo})}. \tag{3.6.4}$$

Pentru simplificarea relației (3.6.4) se notează:

$$\tau_{buc}^{cn} M^{cn} + A^{cn} = C_f^{cn}, \quad \tau_{buc}^{mo} M^{mo} + A^{mo} = C_f^{mo}. \tag{3.6.5}$$

Se obține:

$$x_{k_e} = \frac{C_{pf}^{mo} - C_{pf}^{cn}}{C_f^{cn} - C_f^{mo}} \tag{3.6.6}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care C^{cn}, C_f^{mo} reprezintă cheltuielile de fabricație ale pieselor din lot atunci cînd prelucrarea lor se face pe mașini cu comandă numerică, respectiv pe mașini-unelte obișnuite.

Fiecare din cheltuielile cuprinse în relația generală obținută (3.6.6) pot avea valori mai mari sau mai mici unele față de celelalte, funcție de condițiile concrete respective.

Astfel:

1. $C_{pf}^{mo} > C_{pf}^{cn}$, iar $C_f^{cn} > C_f^{mo}$;

2. $C_{pf}^{cn} > C_{pf}^{mo}$,

valoarea celorlalte cheltuieli rămînînd aceeași ca în cazul 1, adică: $C_f^{cn} > C_f^{mo}$;

3. $C_{pf}^{mo} > C_{pf}^{cn}$ precum și $C_f^{mo} > C_f^{cn}$,

4. cheltuielile de fabricație rămîn aceleași ca în cazul 3, adică:

$$C_f^{mo} > C_f^{cn}, \text{ iar } C_{pf}^{cn} > C_{pf}^{mo}$$

Din reprezentarea grafică a acestor patru cazuri posibile rezultă domeniul de utilizare a *MUCN* și anume atunci cînd:

1. $C_{pf}^{mo} > C_{pf}^{cn}$; $C_f^{cn} > C_f^{mo}$ (fig. 3.6.1).

Costul minim al lotului de piese se obține la prelucrarea pe *MUCN*, dacă numărul de piese din lot este de la 1 ... x_{k_e}, relația (3.6.6). Rezultă deci, în acest caz, în care numărul de piese din lot este mic cu toate că cheltuielile de fabricație la lucrul pe *MUCN* (adică C_f^{cn}) sînt mai mari decît la lucrul pe mașini-unelte obișnuite, prelucrarea pe *MUCN* este mai economică decît pe mașini-unelte obișnuite.

2. $C_{pf}^{cn} > C_{pf}^{mo}$; $C_f^{cn} > C_f^{mo}$, (fig. 3.6.2),

costul lotului de piese la prelucrarea pe *MUCN* este mai mare decît la prelucrarea pe mașini-unelte obișnuite, indiferent de numărul de piese din lot. Preponderența în acest caz asupra costului o au cheltuielile de pregătire a fabricației C_{pf}^{cn}, față de cazul precedent.

3. $C_{pf}^{mo} > C_{pf}^{cn}$; $C_f^{mo} > C_f^{cn}$ (fig. 3.6.3).

În acest caz, indiferent de numărul de piese din lot, costul minim se obține la prelucrarea pe *MUCN*.

4. $C_{pf}^{cn} > C_f^{mo}$; $C_f^{mo} > C_f^{cn}$ (fig. 3.6.4).

În acest ultim caz costul minim al lotului de piese se obține atunci cînd numărul de piese din lot este mai mare decît numărul de piese x_{k_e} rezultat din calculul după relația (3.66). După cum se vede, cheltuielile de pregătire a fabricației pentru prelucrarea pe mașini-unelte cu comandă numerică fiind mai mari decît pe mașinile-unelte obișnuite, fac ca prelucrarea să fie mai economică pe primul tip de mașini-unelte numai atunci cînd numărul de piese din lot este mai mare decît x_{k_e}.

Scanned with OKEN Scanner

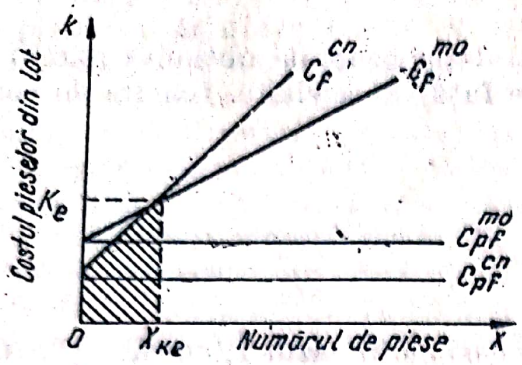


Fig. 3.6.1. Variaţia costurilor funcţie de numărul de piese, atunci cînd $C_{pf}^{mo} > C_{pf}^{cn}$ şi $C_f^{cn} > C_f^{mo}$.

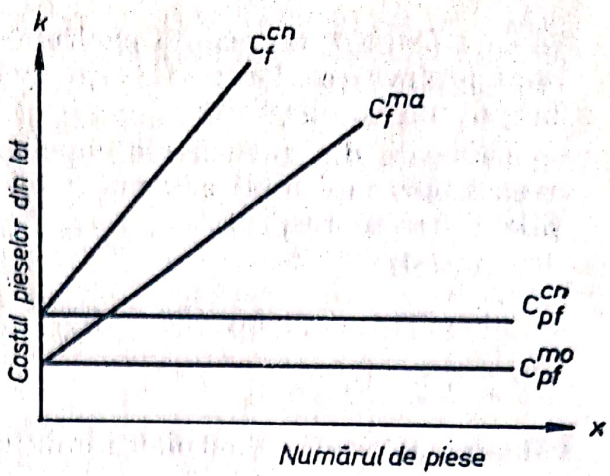


Fig. 3.6.2. Variaţia costurilor funcţie de numărul de piese, atunci cînd $C_{pf}^{cn} > C_{pf}^{mo}$ şi $C_f^{cn} > C_f^{mo}$.

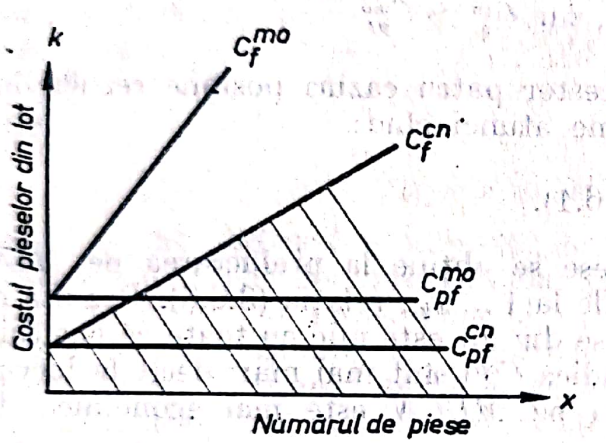


Fig. 3.6.3. Variaţia costurilor funcţie de numărul de piese, atunci cînd $C_{pf}^{mo} > C_{pf}^{cn}$ şi $C_f^{mo} > C_f^{cn}$

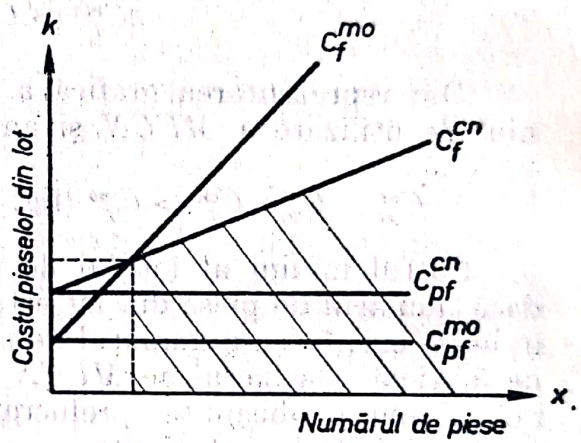


Fig. 3.6.4. Variaţia costurilor funcţie de numărul de piese, atunci cînd $C_{pf}^{mo} < C_{pf}^{cn}$ şi $C_f^{mo} > C_f^{cn}$.

3.6.2. DETERMINAREA DOMENIULUI DE UTILIZARE ECONOMICĂ A STRUNGURILOR SEMIAUTOMATE MULTI-CUŢITE CU UN AX ŞI A CELOR DE COPIAT

Atît în producţia de serie cît şi în cea de masă se utilizează tot mai frecvent strungurile semiautomate multi-cuţite cu un ax şi cele de copiat. Aceste tipuri de strunguri prezintă avantaje şi dezavantaje unele faţă de celelalte. Astfel, timpul de bază de maşină la lucrul pe semiautomate multi-cuţite cu un ax este mai mic decît pe strungurile semiautomate de copiat, în schimb reglarea acestora din urmă este mult mai simplă şi mai uşor de realizat decît a primelor.

Iată deci, că ţinînd seama chiar şi numai de aceste două considerente alegerea uneia sau alteia din aceste două feluri de maşini-unelte nu se poate face arbitrar, ci numai pe baza unui calcul tehnico-economic, în care să se ţină seama de toţi factorii care fac economică utilizarea lor într-un domeniu sau altul.

Indicii eficacităţii relative a utilizării strungurilor semiautomate multi-cuţite monoax faţă de cele de copiat sînt următorii: 1 — productivitatea

funcție de timpul de bază de mașină τ_0 și timpul de lucru pe bucată $\tau_{buc.}$; 2 — costul tehnologic la o operație C_{op}; 3 — posibilitatea realizării preciziei de prelucrare impusă.

Rapoartele timpilor de bază de mașină și ale timpilor de lucru pe bucată, precum și ale costurilor tehnologice ale operațiilor se exprimă ca funcții continui ale parametrilor dimensionali ai suprafețelor pieselor care se prelucrează.

Determinarea domeniului de utilizare economică a acestor două tipuri de strunguri se face analizînd prelucrarea unui lot de arbori în trepte, care sînt cele mai frecvente tipuri de piese ce se prelucrează pe astfel de strunguri.

Parametrii dimensionali caracteristici acestui tip de piese, după cum se vede din figura (3.6.5), sînt: lungimea totală L a suprafețelor treptelor care se prelucrează ($L = l_1 + l_2 \ldots\ldots\ldots + l_k$, unde k este numărul treptelor); D_k — diametrul cel mai mare al treptelor; ξ — coeficient de variație a diametrelor arborelui. Acest coeficient ξ este egal cu raportul dintre diametrul mediu al treptelor arborelui, adică $\frac{D_1 + D_2 + \ldots + D_k}{k} = \frac{\sum_{i=1}^{k} D_i}{k}$ și diametrul maxim D_k;

$$\xi = \frac{\sum_{i=1}^{K} D_i}{KD_k} \qquad (3.6.7)$$

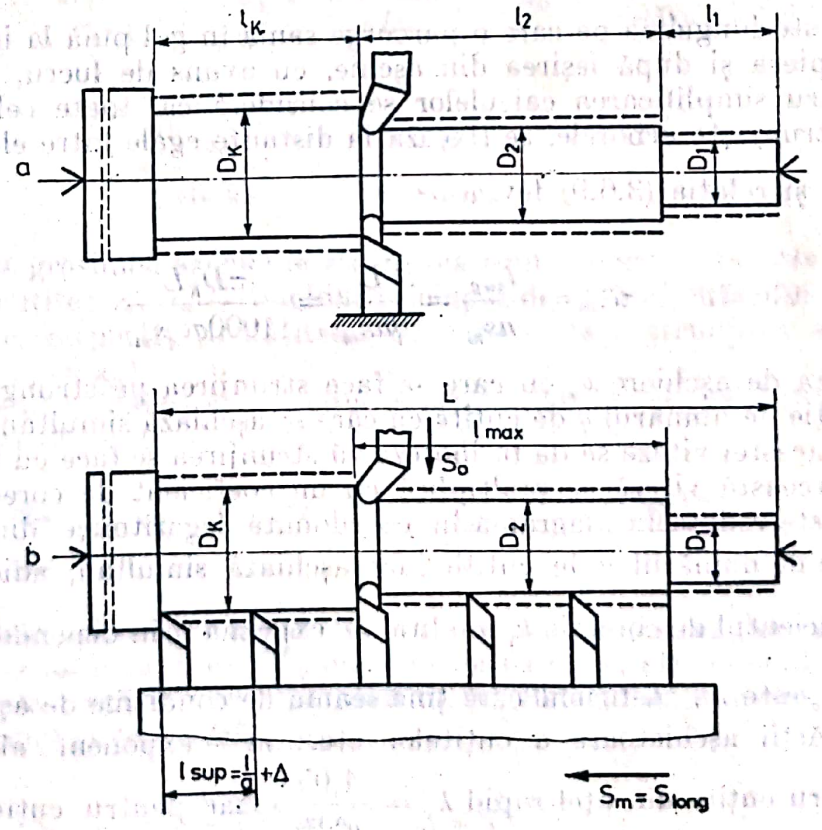


Figura 3.6.5. Strunjirea arborilor în trepte pe:
a — strunguri de copiat; *b* — strunguri semiautomate multi-cuțite cu un ax.

Scanned with OKEN Scanner

Timpul de bază de mașină pentru strunjirea cu avans transversal (s_{tr}) a suprafețelor frontale a treptelor se suprapune peste timpul de bază de mașină pentru strunjirea suprafețelor treptelor cu avans longitudinal (s_{long}). De aceea, acest timp nu se ia în considerare în calculele care se fac în continuare.

Timpul de bază de mașină pentru strunjirea prin copiere a treptelor arborelui cu avans longitudinal se determină după relația:

$$\tau_{bm}^{c} = \frac{l_1}{n_1 s_c} + \frac{l_2}{n_2 s_c} + \ldots + \frac{l_K}{n_K s_c}. \qquad (3.6.8)$$

Timpul de bază de mașină pentru strunjirea pe strungul multi-cuțite cu avans longitudinal se determină după relația:

$$\tau_{bm}^{m} = \frac{l_{sup}}{n s_m}. \qquad (3.6.9)$$

În relațiile de mai sus $n_1, n_2 \ldots\ldots\ldots n_k$ reprezintă numărul de rotații pe minut la strunjirea treptelor respective ale arborelui; s_c, s_m — avansul longitudinal pe rotație la strunjirea prin copiere, respectiv cu multi-cuțite: $l_1, l_2, \ldots l_k$ — lungimea treptelor; l_{sup} — lungimea cursei saniei cu suportul port-cuțite, care este egală cu raportul dintre lungimea maximă și numărul q de cuțite cu care se strunjește treapta cu această lungime, adică

$$l_{sup} = \frac{l_{max}}{q} + \Delta,$$

unde Δ este lungimea pe care o parcurge sania în gol pînă la intrarea în contact cu piesa și după ieșirea din așchie, cu avans de lucru.

Pentru simplificarea calculelor se consideră că, toate cele q cuțite, cu care se strunjește arborele, se fixează la distanțe egale între ele. În acest caz $l_{sup} = \frac{L}{q}$ și relația (3.6.9) devine:

$$\tau_{b \cdot m}^{m} = \frac{l_{sup}}{n s_m} = \frac{L}{q n s_m} = \frac{\pi D_K L}{1000 q v_q s_m} \qquad (3.6.10)$$

Viteza de așchiere v_q cu care se face strunjirea pe strungul multi-cuțite este funcție de numărul q de cuțite cu care se așchiază simultan. În normative valoarea acestei viteze se dă în ipoteza că strunjirea se face cu un singur cuțit $v_q = 1$. Această viteză se multiplică cu un coeficient de corecție k_v a cărei valoare este redată în diagrama în coordonate logaritmice din figura 3.6.6, în funcție de numărul q de cuțite care așchiază simultan, adică $v_q = k_v v_{q=1}$.

Coeficientul de corecție k_v analitic se exprimă prin dependența $k_v = \frac{C_v}{q^m}$, în care C_v este un coeficient care ține seama de condițiile de așchiere, de geometria părții așchietoare a cuțitelor etc.; m — exponent al durabilității.

Pentru cuțite din oțel rapid $k_v = \frac{1{,}05}{q^{0{,}125}}$, iar pentru cuțite din carburi metalice $k_v = \frac{1{,}07}{q^{0.2}}$.

Scanned with OKEN Scanner

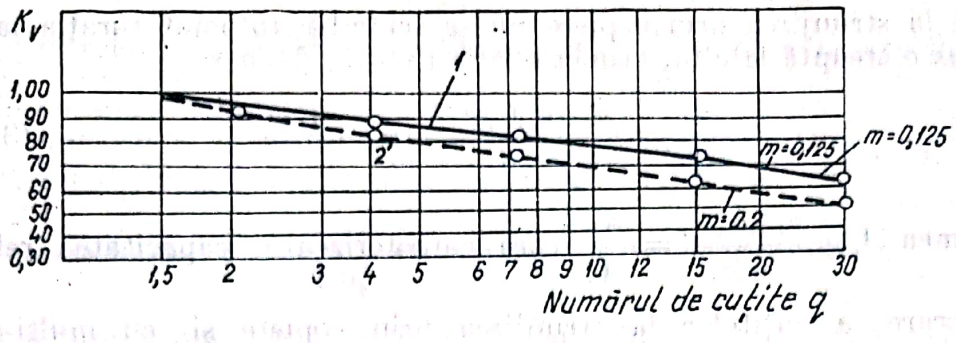


Fig. 3.6.6. Variația valorii coeficientului de corecție funcție de numărul de cuțite (linie plină: la prelucrarea cu cuțite din oțel rapid: linie întreruptă: prelucrarea cu cuțite cu plăcuțe din carburi metalice).

Ținînd seama de cele de mai sus, relația timpului de bază de mașină (3.6.10) devine

$$\tau_{b.m}^{m} = \frac{\pi DL}{1\,000 q^{1-m} v_{q=1} s_m C_v}. \qquad (3.6.11)$$

Dacă la strunjirea pe strungul de copiat există posibilitatea de a se schimba automat turația pentru fiecare treaptă a arborelui pentru a se menține aceeași viteză optimă de așchiere v_{0c}, atunci

$$n_1 = \frac{1\,000 v_{0c}}{\pi D_1}; \quad n_2 = \frac{1\,000 v_{0c}}{\pi D_2}; \quad n_k = \frac{1\,000 v_{0c}}{\pi D_K}, \qquad (3.6.12)$$

iar

$$s_c = \frac{a_c}{\sin \varkappa_c}; \quad s_m = \frac{a_m}{\sin \varkappa_m}, \qquad (3.6.13)$$

unde a_c, a_m este grosimea așchiei la strunjirea prin copiere, respectiv la strunjirea cu multi-cuțite; $\varkappa_c$, $\varkappa_m$ — unghiul principal de atac al cuțitului de strunjit prin copiere, respectiv al cuțitelor cu care se face strunjirea simultană (se consideră $\varkappa_c = \varkappa_m$).

Dacă în relația (3.6.8) se introduc relațiile (3.6.12) și (3.6.13) și se face raportul relației obținute și al relației (3.6.11) rezultă:

$$\frac{\tau_{bm.}^{c}}{\tau_{bm.}^{m}} = \frac{v_{q=1} a_m C_v (l_1 D_1 + l_2 D_2 + \ldots + l_K D_K) q^{1-m}}{v_{0c} a_c L D_k}. \qquad (3.6.14)$$

Din calculele numerice care se fac cu această relație rezultă că eroarea de calcul nu este mai mare de 10% decît valoarea reală, atunci cînd diferența dintre diametrele treptelor nu este prea mare. Relația de mai sus se poate scrie și sub următoarea formă:

$$\frac{\tau_{bm}^{c}}{\tau_{bm}^{m}} = \frac{v_{q=1} a_m C_v q^{1-m} \sum_{i=1}^{k} Dl_i}{v_{0c} a_c K D_K} = A \frac{q^{1-m} \sum_{i=1}^{k} Dl_i}{K D_K} = A \zeta q^{1-m} \qquad (3.6.15)$$

Scanned with OKEN Scanner

Dacă la strunjirea prin copiere nu se schimbă automat turația la trecerea de la o treaptă la alta, atunci relația (3.6.15) devine:

$$\frac{\tau_{bm}^{c}}{\tau_{bm}^{m}} = \frac{v_{q=1} a_m C_v q^{1-m}}{v_{0c} a_c} = A q^{1-m}. \qquad (3.6.16)$$

Mărimea $A = \frac{v_{q=1} a_m C_v}{v_{0c} a_c} = \frac{A_m}{A_c}$ care caracterizează capacitatea relativă de prelucrare a cuțitelor la strunjirea prin copiere și cu multi-cuțite cu regimuri optime de așchiere (admise de rigiditatea sistemului tehnologic al acestor mașini, de condițiile de exploatarea lor, de costul cuțitelor etc.), poate fi obținută prin analiza condițiilor practice de lucru ale cuțitelor, precum și prin calcule, plecînd de la normativele durabilității economice.

Analizînd condițiile de lucru ale cuțitelor la strunjirea simultană și a cuțitului la strunjirea prin copiere, rezultă următoarele:

— o parte din cuțite la prelucrarea cu multi-cuțite simultan lucrează în condiții nefavorabile la intrarea din plin în așchie, ceea ce duce la mărirea numărului de ruperi (spargeri) a lor. Pentru evitarea acestui pericol de rupere regimul de așchiere a unui cuțit la prelucrarea cu multi-cuțite se alege mult mai mic decît la prelucrarea prin copiere (în primul rînd pe seama micșorării avansului în perioada de intrare în așchie);

— întrucît la prelucrarea cu multi-cuțite au loc forțe de așchiere radiale și tangențiale mari care duc la deformarea sistemului tehnologic, avansul care influențează cel mai mult asupra acestor factori se alege mai mic decît la prelucrarea prin copiere;

— la prelucrarea prin copiere în locurile de îmbinare ale treptelor se obține un adaos mai mare de prelucrare. Dacă nu se poate înlătura în prealabil acest adaos cu ajutorul cuțitului de pe suportul transversal, atunci cutițul la prelucrarea prin copiere lucrează în condiții mult mai grele decît la prelucrarea cu multi-cuțite simultan;

— la prelucrarea prin copiere aproape la fiecare treaptă se poate lucra cu viteza optimă de așchiere (v_0 = constant) și cu avansul cel mai rațional. La prelucrarea cu multi-cuțite simultan numărul de rotații ale piesei se determină în funcție de viteza maximă de așchiere admisibilă la diametrul maxim, iar avansul în funcție de adaosul maxim pentru treapta pe care adaosul de prelucrare este cel mai mare. În acest caz se vede că nu se exploatează rațional (complet) proprietățile așchietoare ale majorității cuțitelor;

— la prelucrarea cu multi-cuțite fiecărui cuțit i se poate da geometria optimă corespunzătoare regimului și condițiilor lui de lucru.

Pe baza normativelor existente, precum și pe baza experienței uzinelor din țara noastră și a uzinelor din străinătate se pot lua următoarele valori medii pentru coeficienții utilizați:

a) — pentru cazul prelucrării cu cuțite cu plăcuțe din carburi metalice pe strunguri multi-cuțite;

$$A_m = a_m v_m c_v = 45 \text{ (la } T_m = 80 \text{ min ..., } \varkappa = 90^\circ \text{ și } s_m = a_m),$$

b) — pentru cazul prelucrării cu același fel de cuțite pe strungurile de copiat;

$$A_c = a_c v_{0c} = 60 \text{ (la } T_c = 60 \text{ min).}$$

Avînd aceste valori rezultă: $A = \frac{45}{60}$. După introducerea acestei valori

Scanned with OKEN Scanner

a lui A în relaţiile (3.6.15) şi (3.6.16) raportul $\frac{\tau^c_{b.m.}}{\tau^m_{b.m.}}$ poate fi exprimat ca o funcţie de două variabile:

— numărul q de cuţite la prelucrarea cu multi-cuţite pe suportul longitudinal (la prelucrarea prin copiere $q = 1$)

— coeficientul $\xi = \frac{\Sigma D}{KD_k}$ al variaţiei diametrelor treptelor.

Compararea timpilor de lucru pe bucată. În afară de comparaţia făcută pe baza timpilor de bază de maşină cu ajutorul relaţiilor (3.6.15) şi (3.6.16) este absolut necesar a se face comparaţia celor două metode de prelucrare şi după timpii de lucru pe bucată, care exprimă în fond *productivitatea.* După relaţia cunoscută, norma de timp pe bucată poate fi determinată după relaţia:

$$\tau_{buc} = 1{,}08\tau_{bm} + \tau_a. \tag{3.6.17}$$

Timpul auxiliar τ_a se compune din timpul consumat cu fixarea semifabricatului şi scoaterea piesei prelucrate de pe maşină, cu măsurarea dimensiunilor, precum şi cu manevrarea maşinii. După datele obţinute prin cronometrare la lucrul pe maşini multi-cuţite timpul necesar pentru fixarea şi scoaterea piesei şi pentru măsurarea acesteia formează 70—80% din timpul auxiliar total. Deci, timpul auxiliar în primă aproximaţie, poate fi considerat egal pentru prelucrarea unei piese după cele două metode, adică:

$$\tau_{am} = \tau_{ac} = \tau_a. \tag{3.6.18}$$

În acest caz raportul timpilor de lucru pe bucată la prelucrarea prin copiere şi cu multi-cuţite a aceleiaşi piese poate fi exprimat prin relaţia:

$$\frac{\tau_{buc.c}}{\tau_{buc.m}} = \frac{1{,}08\tau_{bc} + \tau_a}{1{,}08\tau_{bm} + \tau_a} = \frac{\frac{\tau_{ac}}{\tau_{am}} + b}{1 + b}, \tag{3.6.19}$$

unde:

$$b = \frac{\tau_a}{1{,}08\tau_{am}}.$$

Compararea costurilor tehnologice. Pentru determinarea domeniului de utilizare a prelucrării cu multi-cuţite trebuie să se ţină seama şi de costul tehnologic al operaţiei, care este influenţat în mare măsură de numărul de cuţite q. De aceea, numărul de cuţite q care intră în relaţiile de comparaţie (3.6.15), (3.6.16) nu trebuie să se aleagă arbitrar, ci să se ia acel număr de cuţite q care asigură cel mai mic cost al operaţiei.

După cum rezultă din calculele amănunţite, partea costului tehnologic al piesei care este funcţie de numărul de cuţite la prelucrarea cu multi-cuţite poate fi exprimată sub forma:

$$C_{op} = \frac{\pi D_K L}{1\,000 q^{1-m} A_m}\left(0{,}93 + C_{maş}/23600 + \frac{R}{260} + \frac{\pi D_K L q}{1\,000 A_m}\left(\frac{S}{T_m} + \frac{0{,}862\tau_{rc}}{T_m}\right) + \right.$$
$$\left. + \tau_{rcl} 0{,}02 q\left(0{,}862 + \frac{C_{maş}}{25\,500}\right)\right). \tag{3.6.20}$$

unde $C_{maş}$ este costul maşinii-unelte în lei; R — categoria de complexitate a reparaţiei maşinii-unelte; S — cheltuieli de exploatare a unui singur cuţit

în perioada durabilității lui; τ_{rc} — timpul de reglare a cuțitului la dimensiune în afara mașinii; τ_{rc1} — timpul consumat cu reglarea de compensare a uzurii radiale sau cel necesar pentru înlocuirea cuțitului, în cazul cînd acesta s-ar fi rupt sau s-ar fi uzat prematur.

Făcînd prima derivată a relației (3.6.20) în funcție de numărul de cuțite q, adică rezolvînd ecuația:

$$\frac{\mathrm{d}C_{op}}{\mathrm{d}q} = 0, \tag{3.6.21}$$

se poate determina numărul de cuțite care asigură cel mai mic cost al operației la prelucrarea cu mai multe cuțite simultan.

Această ecuație rezolvată dă dependența lui q de produsul D_kL al parametrilor dimensionali ai arborelui, de timpii τ_{rc} și τ_{rc1}, de nivelul regimurilor de așchiere caracterizate prin coeficientul A_m și de coeficienții m, s, $C_{maș}$ și R care au influență asupra costului operației.

În figura 3.6.7 este redat graficul $q = f(D_kL)$ pentru cuțite cu plăcuțe din carburi metalice cu: $m = 0{,}2$; $R = 14$; $A_m = 45$; $\tau_{rc1} = 0{,}5\tau_{rc}$ și cu diferite valori ale lui τ_{rc}. Cu ajutorul acestui grafic, cunoscînd parametrii arborelui care se prelucrează (produsul D_kL) și timpul τ_{rc} necesar pentru reglarea la dimensiune și schimbarea unui cuțit, timp care depinde de construcția suportului port-cuțit și de cerințele de precizie ale piesei, se poate determina numărul optim de cuțite q, care asigură costul tehnologic minim al operației la prelucrarea cu multi-cuțite a unui arbore în trepte.

Determinînd în felul acesta numărul q de cuțite, se pot folosi relațiile pentru comparația productivității prelucrării cu multi-cuțite și prin copiere, în scopul găsirii domeniului de utilizare economică a fiecăreia din aceste două metode. La rezolvarea problemei de alegere a celei mai productive metode de prelucrare a unui arbore concret, numărul q de cuțite trebuie să se corecteze în funcție de forma piesei, adică în funcție de numărul de trepte și de lungimea lor.

În figura 3.6.8 este reprezentat graficul construit după relația (3.6.15). Cu ajutorul acestui grafic, raportul $\frac{\tau^c_{bm}}{\tau^m_{bm}}$ se determină ca funcție a numărului q de cuțite cunoscute la prelucrarea cu multi-cuțite și a coeficientului

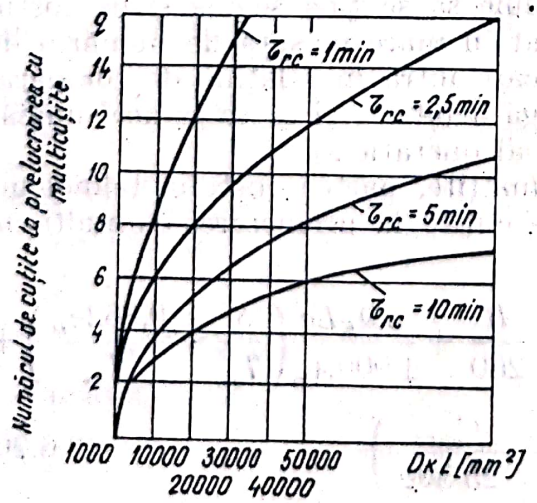


Fig. 3.6.7. Dependența numărului de cuțite de produsul D_kL, la prelucrarea cu cuțite cu plăcuțe din carburi metalice.

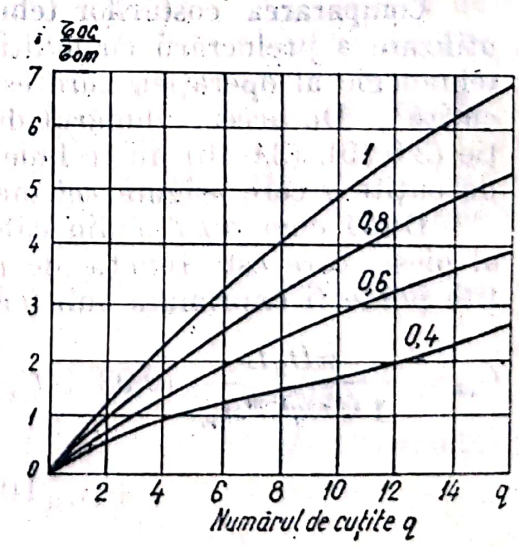


Fig. 3.6.8. Variația raportului timpilor de bază de mașină funcție de numărul de cuțite.

$\xi = \frac{\Sigma D}{KD_K}$. Acest coeficient influențează la comparație numai în cazul în care la prelucrarea prin copiere se schimbă automat numărul de rotații ale piesei, funcție de schimbarea diametrului treptelor arborelui care se prelucrează. Pentru cazul cînd acest lucru nu are loc, coeficientul de mai sus este egal cu unitatea ($\xi = 1$). Din grafic se vede că toate curbele intersectează linia $\frac{\tau^c_{bm}}{\tau^m_{bm}} = 1$ în diferite puncte.

Punctele de intersecție corespund valorilor limită ale lui q. Prelucrarea, cu un număr de cuțite mai mare decît cel limită pentru arborele cu parametrii dați, devine mult mai productivă după timpul de bază de mașină, cu multi-cuțite.

Valoarea limită a lui q este: $q = \left(\frac{1}{\xi A}\right)^{\frac{1}{1-m}}$.

După cum s-a mai arătat, indicele de bază pentru compararea eficacităților celor două metode de prelucrare este *costul unei operații*. La efectuarea comparației costului operației executate pe un strung multi-cuțite și de copiat, cheltuielile de reparații și amortizare trebuie să se ia egale. Întrucît aceste componente ale costului sînt relativ neînsemnate, în comparații nu prea detaliate se pot neglija.

În condițiile producției de serie mare și masă programul anual de piese și mărimea lotului de piese prelucrate între două reascuțiri fiind foarte mare, relația care exprimă costul tehnologic se reduce la următoarea formă simplificată:

$$C = \tau_{bm} \frac{S}{T} + 0{,}86\tau_{buc}. \qquad (3.6.22)$$

Raportul costurilor tehnologice la prelucrarea unei piese, după cele două metode care se compară, poate fi exprimat sub forma:

$$\frac{C^c}{C^m} = \frac{\tau^c_{bm}\frac{S_c}{T_c} + 0{,}86\tau^c_{buc}}{\tau^m_{bm}\frac{S_m}{T_m}q + 0{,}86\tau^m_{buc}} = \frac{\tau^c_{bm}}{\tau^m_{bm}}\left[\frac{\frac{S_c}{1{,}08T_c} + 0{,}86\left(1 + \frac{\tau_a}{1{,}08\tau^m_{bm}}\cdot\frac{\tau^m_{bm}}{\tau^c_{bm}}\right)}{\frac{S_m}{1{,}08T_m}q + 0{,}86\left(1 + \frac{\tau_a}{1{,}08\tau^m_{bm}}\right)}\right] \qquad (3.6.23)$$

În figura 3.6.9 este reprezentat graficul $\frac{C^c}{C_m} = f(q, \xi, b)$ construit după relația de mai sus (3.6.23). Raportul $\frac{\tau^c_{bm}}{\tau^m_{bm}}$ care intră în relația (3.6.23) este luat pentru valorile corespunzătoare a lui q și ξ, din graficul reprezentat în figura (3.6.8). Celelalte mărimi care intră în relația (3.6.23) au următoarele valori: $T_c = 60$ min; $T_m = 80$ min; $S_c = 12{,}8$ bani; $S_m = 12{,}8$ bani.

În concluzie se poate arăta că:

1. Cu cît este mai mare lungimea și diametrul arborelui, cu atît mai mare este numărul optim de cuțite utilizate pentru strunjirea longitudinală la prelucrarea pe strunguri multi-cuțite a arborilor în trepte (cu un număr k de trepte) și cu atît mai mare va fi eficacitatea relativă a prelucrării cu multi-cuțite în comparație cu cea prin copiere.

Scanned with OKEN Scanner

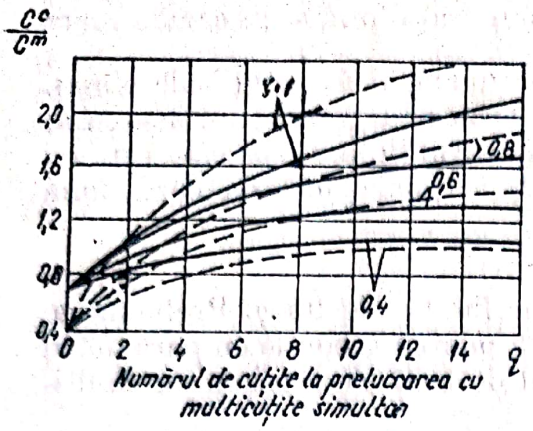


Fig. 3.6.9. Variația raportului costurilor funcție de numărul de cuțite.

2. Cu cît este mai mic coeficientul de variație a diametrelor treptelor arborelui ξ, cu atît este mai eficace schimbarea automată a turației piesei la prelucrarea succesivă prin copiere a treptelor piesei și deci, cu atît este mai ridicată eficacitatea relativă a prelucrării prin copiere în comparație cu cea cu multi-cuțite.

3. La prelucrarea de degroșare a arborilor cu rigiditate scăzută $\left(\text{cu } \frac{L_{total}}{D_{med}} > 10\right)$ și la prelucrarea de semifinisare a arborilor rigizi confecționați din semifabricate în trepte, *precizia impusă* se poate obține la prelucrarea cu multi-cuțite dintr-o *singură trecere*.

În aceste cazuri prelucrarea cu multi-cuțite va fi mai eficace decît cea prin copiere dintr-o singură trecere, cînd arborii au parametrii indicați în tabelul 3.6.1

Tabelul 3.6.1

Parametrii arborilor a căror strunjire de degroșare cu multi-cuțite este mai economică decît prin copiere

Comparația	$\xi = 1$	$\xi = 0{,}6$
După productivitate	$LD_k > 3\,000$ mm² (de ex. $L = 175$ mm; $D_k > 18$ mm)	$LD_k > 10\,000$ mm² (de ex: $L = 285$ mm; $D_k > 35$ mm)
După costul produsului	$LD_k > 3\,000$ mm² (de ex. $L = 175$ mm; $D_k > 18$ mm)	$LD_k > 20\,000$ mm² (de ex. $L = 450$ mm; $D_k > 45$ mm)

4. Prelucrarea de semifinisare a arborilor din semifabricate cu număr mare de trepte, cu multi-cuțite, simultan din două treceri (din două operații), va fi mult mai eficace decît prelucrarea prin copiere din două treceri la o singură prindere, atunci cînd arborele are parametrii din tabelul 3.6.2.

Tabelul 3.6.2

Parametrii arborilor a căror strunjire de semifinisare cu multi-cuțite este mai economică decît prin copiere

Comparația	$\xi = 1$	$\xi = 0{,}6$
După productivitate	$LD_k > 5\,000$ mm² (de ex. $L = 230$ mm; $D_k > 22$ mm)	$LD_k > 25\,000$ mm² (de ex. $L = 500$ mm; $D_k > 50$ mm)
După costul produsului	$LD_k > 8\,000$ mm² (de ex. $L = 280$ mm; $D_k > 28$ mm)	—

Scanned with OKEN Scanner

5. Prelucrarea de semifinisare a arborilor cu o rigiditate scăzută din semifabricate în trepte sau a arborilor din semifabricate cu adaos mare de prelucrare, care permite prelucrarea prin copiere dintr-o singură trecere şi care necesită două treceri la prelucrarea cu multi-cuţite simultan, ultima este mult mai eficace numai pentru arbori mari ($LD_k > 50\,000$ mm²).

Datele obţinute arată că într-o serie de cazuri prelucrarea cu multi-cuţite este mult mai eficace decît cea prin copiere. În legătură cu aceasta semiautomatele de copiat hidraulice construite în ultimul timp se prevăd cu cîteva sănii de copiat, pe care se pot fixa blocuri cu mai multe cuţite.

În acelaşi timp însă se fac perfecţionări şi în construcţia strungurilor multi-cuţite în ceea ce priveşte posibilitatea reglării de compensare a uzurii cuţitelor pe faţa de aşezare, precum şi în ceea ce priveşte utilizarea cuţitelor armate cu plăcuţe din carburi metalice fixate mecanic. Toate aceste îmbunătăţiri fac ca prelucrarea pe strunguri multi-cuţite să fie şi mai eficace.

3.7. PRESCRIEREA REGIMULUI DE AŞCHIERE PENTRU PRELUCRAREA SUPRAFEŢELOR ELEMENTARE ALE PIESEI REPREZENTATIVE, PENTRU FIECARE PROCEDEU SAU METODĂ TEHNOLOGICĂ DE PRELUCRARE, PRESCRISĂ ÎN ETAPA PRECEDENTĂ

Pentru proiectarea procesului tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative a unei clase sau grupe de piese, regimul de aşchiere poate fi calculat analitic după metoda de calcul care are la bază programarea matematică (v. 4.3.2) sau după metoda clasică.

Metoda clasică constă în determinarea sau admiterea apriorică a durabilităţii tăişului sculei, considerarea ei ca o constantă şi apoi determinarea parametrilor regimului de aşchiere cu verificarea ulterioară în mod succesiv a unor condiţii restrictive.

Durabilitatea economică se calculează după relaţia:

$$T_{ec} = \frac{1-m}{m}\left(\tau_s + \frac{S}{C_b}\right), \qquad (3.7.1)$$

iar durabilitatea optimă după relaţia:

$$T_{op} = \frac{1-m}{m}\tau_s, \qquad (3.7.2)$$

în care: m este exponentul durabilităţii; τ_s — timpul necesar pentru schimbarea sculei uzate şi reglarea sculei reascuţite, în minute; C_b — retribuţia muncitorului de la maşina-unealtă respectivă, în lei/min; S — cheltuieli legate de exploatarea sculei. Aceste cheltuieli se calculează după următoarea relaţie:

$$S = \tau_1 C_{b1} + \frac{C_s}{n_s}, \qquad (3.7.3)$$

în care: τ_1 este timpul necesar pentru reascuţirea sculei, în min; C_{b1} — retribuţia muncitorului care reascute scula, în lei/min; C_s — costul iniţial al sculei, în lei; n_s — numărul de ascuţiri posibile ale sculei, pînă la scoaterea ei din uz.

În general, regimul de aşchiere se calculează în aşa fel, încît să asigure obţinerea unui cost minim. În anumite cazuri speciale se admite calculul

Scanned with OKEN Scanner

regimului de așchiere care asigură o productivitate maximă, cu costuri mai ridicate (în cazul unei strangulări la una din operațiile din linia tehnologică sau în perioade pe timp excepționale).

După cunoașterea durabilității tăișului sculei T, cu ajutorul relației Time-Taylor, se pot calcula parametrii regimului de așchiere v, t, s:

$$T^m = \frac{C_v}{v t^{x_v} s^{y_v}}. \tag{3.7.4}$$

Valorile coeficientului C_v și a exponenților x_v, y_v și m se stabilesc experimental sau se iau din tabele.

După cum se vede, relația (3.7.4) este o ecuație cu trei necunoscute (v, t și s). Una din necunoscute poate fi calculată cu relația respectivă, numai dacă se admit cunoscute celelalte două.

Deci, metoda clasică în afară de determinarea apriorică a durabilității și apoi considerarea ei ca o constantă, mai impune cunoașterea prealabilă a încă doi parametri ai regimului de așchiere. Aceștia pot fi determinați fie prin calcul, fie din tabele sau diagrame sau pot fi prescriși după experiența tehnologului. Urmează apoi ca cei doi parametri determinați aprioric din tabele, diagrame sau după experiența tehnologului să fie verificați ulterior, funcție de condițiile concrete de prelucrare și anume: rigiditatea sistemului tehnologic elastic *MUPS*; puterea mașinii-unelte; precizia dimensional-geometrică și calitatea impusă suprafeței piesei; ritmul liniei tehnologice; cinematica mașinii-unelte etc.

Atunci cînd cei doi parametri ai regimului de așchiere (respectiv cele două necunoscute) din relația (3.7.4) au fost determinați prin calcul, ei vor fi de asemenea verificați funcție de aceleași condiții restrictive enumerate mai sus, mai puțin cele din care au rezultat valorile lor.

La alegerea celor doi parametri ai regimului de așchiere, pentru a calcula apoi cu ajutorul relației amintite pe cel de-al treilea parametru, trebuie să se aibă în vedere faptul că:

— la o durabilitate dată a tăișului sculei, timpul minim de bază de mașină se poate obține făcînd prelucrarea cu adîncimea maximă de așchiere în detrimentul avansului de lucru și a vitezei de așchiere;

— la aceeași durabilitate dată a tăișului, timpul minim de bază de mașină se obține făcînd prelucrarea piesei cu avansul maxim posibil în detrimentul celorlalți doi parametri ai regimului de așchiere.

De asemenea, parametrii regimului de așchiere pot fi nu numai determinați prin calcul ci și preluați sau prescriși din normative.

3.7.1. METODĂ RAPIDĂ DE CALCUL A REGIMULUI DE AȘCHIERE DIN NORMATIVE

Pentru a se simplifica și ușura munca tehnologului la proiectarea parametrilor regimului de așchiere din normative, a fost elaborată în acest scop o metodă ușoară și rapidă de calcul [15]. În afară de aceasta, metoda prezentată în cele ce urmează, mai prezintă încă un avantaj deosebit de important și anume acela, că reduce foarte mult volumul ocupat în memoria calculatorului electronic cu date din normative, în cazul în care proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare a pieselor se face automat cu calculatorul electronic, iar pentru determinarea regimului de așchiere se utilizează normativele de regimuri.

Principiul metodei constă în reprezentarea grafică a valorilor din normative prevăzute pentru parametrii regimului de așchiere, funcție de diverse

Scanned with OKEN Scanner

mărimi variabile, adică se reprezintă grafic dependența mărimii y (care poate fi: — adîncimea de așchiere, t; — avansul de lucru, s; — viteza de așchiere, v) de $x(d)$, $x(t)$, $x(s)$, d fiind diametrul suprafeței care se prelucrează.

Curbele obținute se aproximează cu curbe a căror ecuații sînt cunoscute, care în majoritatea cazurilor sînt de forma: $y = C_1x_i + C_0$; $y = C_2x_i^2 + C_1x_i + C_0$; $y = Ae^{BX_i}$ sau $y = Ax_i^B$, în care: variabila x_i poate fi (așa cum s-a arătat) diametrul suprafeței care se prelucrează, adîncimea de așchiere sau avansul de lucru, iar C_2, C_1, C_0, A și B sînt constante a căror valoare trebuie determinată.

Pentru determinarea valorilor coeficienților enumerați se pot folosi următoarele metode: — a interpolării; — a celor mai mici pătrate sau metoda nivelării [29].

Folosind metodele respective s-au obținut relații matematice de calcul rapid a parametrilor regimului de așchiere pentru diverse condiții de prelucrare. Relațiile matematice obținute sînt prezentate centralizat în următoarele tabele, pentru prelucrări prin strunjire, frezare, rectificare, burghiere.

Tabelul 3.7.1

Valorile avansurilor pentru degroșare la strunjirea frontală, cu cuțite din oțel rapid a pieselor din oțel cu $\sigma_r = 450-1\,200$ MPa, funcție de adîncimea de așchiere $S = C_3 \cdot t^3 + C_2 \cdot t^2 + C_1 \cdot t + C_0$, cu $t \in [1{,}7;\ 16]$

Nr. crt.	σ_r	C_0	$-C_1$	$C_2 \cdot 10^{-2}$	$C_3 \cdot 10^{-3}$
1.	450	1,91863	0,41745	3,7574	1,12961
2.	650	1,54079	0,33830	3,06614	0,92416
3.	950	1,22903	0,27241	2,50364	0,77461
4.	1 200	0,97598	0,21663	1,97926	0,60310

Aplicații exemplificatorii

1. Se consideră prelucrarea prin burghiere a alezajului străpuns (fig. 3.7.1) într-o piesă confecționată din OLC45, cu un burghiu elicoidal (STAS 575), cu diametrul de 20 mm, pe o mașină de găurit verticală cu următoarele caracteristici:

$P = 1{,}7$ kW — puterea motorului electric de antrenare;

$n_{min} = 56$ rot/min; $n_{max} = 2240$ rot/min;

$S_{min} = 0{,}08$ mm/rot; $S_{max} = 0{,}31$ mm/rot.

$F_a = 6000$ N — forța axială limită admisă de mecanismul de avans.

Dacă se urmărește obținerea unui cost minim al operației de prelucrare mecanică, atunci, luînd în considerare relația (3.7.1), durabilitatea sculei se calculează cu formula:

$$T_{cc} = \frac{1-m}{m}\left(\tau_s + \frac{S}{C_b}\right),$$

în care: $m = 0{,}2$ [29];

$\tau_s = 1$ min;

$$S = \tau_1 C_{b_1} + \frac{C_s}{n_s};$$

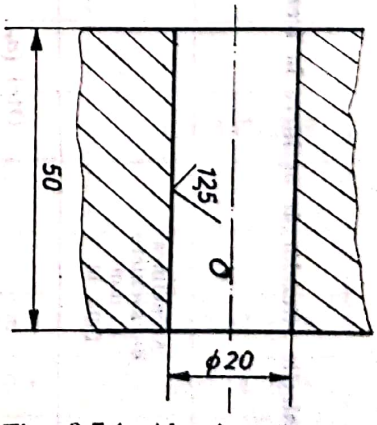


Fig. 3.7.1. Alezaj străpuns.

Tabelul 3.7.2

Valorile vitezelor de aşchiere la frezarea plană cu freze cilindrice elicoidale (D=80 mm, Z = 12), cu dinţi din oţel rapid, durabilitatea T = 240 min şi lăţimea de frezare B = 50 mm

$$V = C_3 \cdot S^3 + C_2 \cdot S^2 + C_1 \cdot S + C_0, \text{ cu } S \in [0{,}03 - 0{,}8]$$

Adîncimea de aşchiere t, mm pînă la:	Materialul de frezat	C_0	C_1	C_2	C_3
3	Oţel (σ_r = 650 MPa)	59,74427	−186,54472	332,53068	−201,91484
	FM (HB = 180)	74,84959	−237,19850	421,06934	−225,19947
	FC (HB = 180)	55,68716	−147,82938	208,02636	−108,591611
	Oţel K	$V = 14{,}14146 \cdot S^{-0{,}24971}$			
5	Oţel (σ_r = 650 MPa)	51,03884	−157,32643	273,65868	−162,85219
	FM (HB = 180)	64,22634	−206,17593	373,46429	−231,22493
	FC (HB = 180)	42,51329	−101,65651	99,10760	− 9,11782
	Oţel K	$V = 11{,}86778 \cdot S^{-0{,}35242}$			
8	Oţel (σ_r = 650 MPa)	43,87009	−135,43676	245,69824	−153,93180
	FM (HB = 180)	56,02504	−181,77571	320,60569	−191,11042
	FC (HB = 180)	33,62293	− 92,13719	134,38439	− 72,15720
	Oţel K	$V = 10{,}18302 \cdot S^{-0{,}35990}$			
12	Oţel (σ_r = 650 MPa)	39,33959	−121,42429	206,97830	−120,52477
	FM (HB = 180)	49,17301	−155,14181	271,21690	−161,46959
	FC (HB = 180)	27,82414	− 77,25021	114,20912	− 63,56761
	Oţel K	$V = 9{,}30522 \cdot S^{-0{,}34168}$			

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.7.3

Valorile avansurilor pentru semifinisare şi finisare la strunjirea frontală a fontelor cenuşii cu HB = 190 — 315, cu cuţite din oţel rapid pe maşini de frezat şi alezat orizontale

$$s = C_0 + C_1R + C_2R^2 + C_3R^3, \text{ cu } R \in [0{,}2-5{,}5]$$

Rugozitatea suprafeţelor STAS 5730-75	R_a 5 µm	C_0	C_1	C_2	C_3
		0,10857	0,15869	$-3{,}27588\cdot10^{-2}$	$8{,}83002\cdot10^{-3}$
	R_a 2,5 µm	$8{,}07063\cdot10^{-2}$	$5{,}40812\cdot10^{-2}$	$-2{,}32514\cdot10^{-3}$	$3{,}19894\cdot10^{-4}$

Tabelul 3.7.4

Valorile avansurilor pentru semifinisare şi finisare la strunjirea frontală a oţelurilor cu σ_r = 450 — 1 000 MPa, cu cuţite cu plăcuţe din carbură metalică pe maşini de frezat şi alezat orizontale

$$s = C_0 + C_1R + C_2R^2, \text{ cu } R \in [0{,}5-3]$$

Rugozitatea suprafeţei (STAS 5730-75)	Viteza de aşchiere v, m/min, pînă la:	C_0	C_1	C_2
R_a 5 µm	63	0,1546	$8{,}97142\cdot10^{-2}$	—
	100	0,1913	$9{,}82857\cdot10^{-2}$	—
	160	0,2675	0,035	0,03
	> 160	0,315	0,034	0,02
R_a 2,5 µm	63	0,1	0,04	—
	100	0,12	$4{,}5714\cdot10^{-2}$	—
	160	0,146	$5{,}08571\cdot10^{-2}$	—
	> 160	0,16	$6{,}57142\cdot10^{-2}$	—
R_a 1,25 µm	63	0,07	0,02	—
	100	0,75	$3{,}53571\cdot10^{-2}$	$-3{,}57142\cdot10^{-3}$
	160	0,0913	0,03257	—
	> 160	$8{,}699\cdot10^{-2}$	0,06992	$-6{,}42857\cdot10^{-3}$
R_a 0,63 µm	63	$5\cdot10^{-2}$	$1{,}9\cdot10^{-2}$	—
	100	0,07	0,02	—
	160	0,75	$3{,}53571\cdot10^{-2}$	$-3{,}57142\cdot10^{-3}$
	> 160	0,0819	$5{,}45714\cdot10^{-2}$	$-2{,}85714\cdot10^{-3}$

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.7.5

Valorile vitezei de aşchiere pentru degroşare la strunjirea interioară a oţelurilor cu σ_r = 400 — 960 MPa cu cuţite din oţel rapid pe maşini de frezat şi alezat orizontale

$v = AS^B$, cu $S \in [0{,}125 - 0{,}75]$

Adîncimea de aşchiere t, mm pînă la:				A	B
2	4	8	16		
Rezistenţa la rupere a materialului de prelucrat σ_r [MPa]					
540	490	440	400	25,07299	—0,66879
590	540	490	440	20,92398	—0,67609
650	590	540	490	17,49458	—0,68282
720	650	590	540	14,77777	—0,68071
790	720	650	590	12,41605	—0,68177
870	790	720	650	10,41899	—0,68248
960	870	790	720	8,76196	—0,68269
	960	870	790	7,40387	—0,68009
		960	870	6,15942	—0,68587
			960	5,21737	—0,68224

Tabelul 3.7.6

Valorile vitezei avansului principal şi ale avansului de pătrundere la rectificarea de degroşare a canelurilor

$S_p = -0{,}1424\ t^2 + 0{,}1657\ t + C_0$, cu $t \in [0{,}16 - 0{,}5$

Raportul L/D						
1,0	2,5	4	6,3	10	16	>16
Viteza avansului principal V_p [m/min]						
4	5	6,3	8	10	12,5	16
Avansul de pătrundere S_p [mm/cd]						
$C_0 \cdot 10^{-2}$						
2,2424	1,7424	1,2424	0,7424	0,2424	—0,2575	—0,7575
3,2424	2,7424	2,2424	1,7424	1,2424	0,7424	0,2424

Scanned with OKEN Scanner

$\tau_1 = 2$ min;

$C_{b_1} = 0{,}1$ lei/min;

$C_S = 20$ lei;

$n_s = \frac{l_r}{U_a}$; $(l_r = l_1 - 5 \div 90$ mm); $l_1 = 140$ mm (lungimea porțiunii cu canale);

$U_a = 1{,}22$ mm (porțiunea din lungimea sculei care este îndepărtată la reascuțire);

$$n_s = \frac{90}{1{,}22} = 74;$$

$C_b = 0{,}1$ lei/min;

$$S = 2.0{,}1 + \frac{20}{74} = 0{,}47 \text{ lei};$$

$$T_{cc} = \frac{1 - 0{,}2}{0{,}2}\left(1 + \frac{0{,}47}{0{,}1}\right) = 22{,}8 \text{ min};$$

Avansul maxim se calculează cu relația din [29]:

$$S_{max} = C_s \cdot d^{0{,}6} = 0{,}047 \cdot d^{0{,}6} = 0{,}047 \cdot 20^{0{,}6} = 0{,}2867 \text{ mm/rot.}$$

Ținînd cont de recomandările din literatura de specialitate și de mașina pe care se face prelucrarea se alege $S = 0{,}2$ mm/rot.

Viteza de așchiere se calculează cu o relație de forma următoare care pentru burghiere se scrie:

$$v = \frac{C_v \cdot d^{X_v}}{T^m \cdot s^{Y_v}} = \frac{5 \cdot d^{0{,}4}}{T^{0{,}2} \cdot s^{0{,}7}} = \frac{5 \cdot 20^{0{,}4}}{22{,}8^{0{,}2} \cdot 0{,}2^{0{,}7}} \approx 27{,}3 \text{ m/min.}$$

Turația sculei este:

$$n = \frac{1000\, v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 27{,}3}{\pi \cdot 20} = 435 \text{ rot/min.}$$

Așa cum s-a amintit, în cazul calculului parametrilor regimului de așchiere după metoda clasică, după determinarea lui v, t, s, urmează etapa verificării factorilor restrictivi. Dacă se execută aceste verificări se constată că valorile găsite pentru n și s nu contravin relațiilor stabilite în subcapitolul 3.7.1.

Avînd în vedere cele prezentate în 3.7.1. s-au obținut rezultatele din tabelele 3.7.7 și 3.7.8.

Pentru exemplul dat conform tabelului 3.7.7.: $s = 5{,}14472 \cdot 10^{-2} \cdot d^{0{,}49077} = 5{,}14472 \cdot 10^{-2} \cdot 20^{0{,}49077} = 0{,}223$ mm/rot.

Pentru prelucrarea prin burghiere a alezajului din figura 3.7.1. conform tabelului 3.7.8:

$$V = 11{,}72852 \cdot s^{-0{,}54007} = 11{,}72852 \cdot 0{,}2^{-0{,}54007} = 27{,}9 \text{ m/min.}$$

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.7.7

Avansuri la găurirea în plin a oţelurilor cu burghie din oţel rapid funcţie de diametrul burghiului

Oţeluri	Rugozitatea (STAS 5730)		Avansul s [mm/rot] $s = A \cdot d^B$ cu $d \in [10, 63]$	
			$A \cdot 10^{-2}$	B
		R_a 20	5,14472	0,49077
		R_a 10	4,22486	0,48156
		R_a 5	3,05602	0,50807

Tabelul 3.7.8

Viteze de aşchiere la găurirea în plin a oţelurilor cu $\sigma_r = 400 - 1\,000$ MPa cu burghie din oţel rapid funcţie de avansul de lucru S

Diametrul burghiului d [mm] până la:				Viteza de aşchiere v [m/min] $v = A \cdot S^{-B}$		$S \in [\ ]$
10	23	56	56			
Rezistenţa la rupere a materialului σ_r [MPa] până la:				A	B	
			400	39,81678	0,50263	0,2 ÷ 1,2
		400	450	33,27801	0,51260	0,15 ÷ 1,2
	400	450	500	27,71695	0,53052	0,12 ÷ 1,2
400	450	500	550	24,18402	0,50531	0,09 ÷ 1,2
450	500	550	650	20,08142	0,52502	0,09 ÷ 1,2
500	550	690	700	16,85131	0,52808	0,09 ÷ 1,2
550	690	700	800	14,02963	0,53599	0,09 ÷ 1,2
650	700	800	900	11,72852	0,54007	0,09 ÷ 1,2
700	800	900	1 000	9,83610	0,54390	0,09 ÷ 1,2
800	900	1 000		8,25130	0,54722	0,09 ÷ 1,2
900	1 000			6,77911	0,56269	0,09 ÷ 0,8
1 000				5,42721	0,59224	0,09 ÷ 0,56

3.8. CALCULUL NORMEI TEHNICE DE TIMP ŞI A NORMEI TEHNICE DE PRELUCRARE

Unul din criteriile de bază care ajută la aprecierea economicităţii unui proces tehnologic de prelucrare este norma tehnică de timp şi norma tehnică de prelucrare.

În capitolul 1 s-a arătat că un proces tehnologic de prelucrare sau de asamblare poate fi format din una sau mai multe operaţii. Pentru executarea fiecărei operaţii este necesar un timp oarecare de lucru.

Timpul necesar pentru executarea unei operaţii tehnologice în anumite condiţii de producţie tehnico-organizatorice dintre cele mai favorabile se numeşte *normă tehnică de timp*.

Scanned with OKEN Scanner

Norma tehnică de timp se stabileşte în funcţie de posibilităţile de exploatare ale utilajului, sculelor şi altor mijloace de producţie în condiţiile aplicării metodelor de lucru corespunzătoare tehnicii moderne, ţinîndu-se seama în acelaşi timp şi de experienţa în lucru a muncitorilor fruntaşi.

Dacă se împarte unitatea de timp (fie ea minut, oră sau schimb) la norma tehnică de timp se obţine norma tehnică de prelucrare, care caracterizează productivitatea muncii, exprimată în bucăţi pe unitatea de timp respectivă.

Deci, *norma tehnică de prelucrare* se numeşte mărimea inversă a normei tehnice de timp şi se exprimă prin cantitatea de piese care trebuie să fie executate în unitatea de timp.

Atît norma tehnică de timp cît şi norma tehnică de prelucrare nu sînt mărimi constante determinate odată pentru totdeauna pentru locul de muncă dat. Ele se schimbă în funcţie de îmbunătăţirea posibilităţilor de exploatare a utilajului şi sculelor, de ridicarea gradului de automatizare şi mecanizare a proceselor de producţie, în funcţie de creşterea continuă a nivelului tehnic şi cultural al muncitorului, precum şi de îmbunătăţirea condiţiilor tehnico-organizatorice a locului de muncă.

Norma tehnică de timp se poate determina după trei metode şi anume:
— pe bază de calcul analitic;
— pe bază statistică;
— pe bază comparativă.

Dintre aceste trei metode enumerate, prima este o metodă ştiinţifică foarte răspîndită, cu ajutorul căreia se poate calcula norma tehnică de timp foarte precis. După această metodă de calcul analitic norma tehnică de timp se determină pe bază de calcul a timpului necesar executării de către muncitor şi maşina-unealtă a fiecărui element al operaţiei în condiţiile folosirii la maximum a posibilităţilor de exploatare a maşinii-unelte şi a sculei.

După cea de a doua metodă (statistică), normarea se face fără a se calcula timpul pentru fiecare element al operaţiei. Ea se face pe baza însumării datelor statistice despre timpul mediu consumat pentru executarea unor operaţii similare. Norma tehnică de timp determinată după această metodă nu este mobilizatoare, pentru că ea se bazează pe realizările obţinute în trecut, fără a ţine seama de posibilităţile noi existente, de nivelul tehnicii moderne. De aceea, nu se mai recomandă folosirea acestei metode pentru determinarea normei tehnice de timp, decît numai în anumite cazuri izolate.

După cea de a treia metodă (comparativă), norma tehnică de timp se determină prin compararea operaţiei ce se normează cu o operaţie similară din procesul tehnologic de prelucrare a unei piese asemănătoare, însă de dimensiuni diferite, pentru care norma tehnică de timp a fost determinată deja pe bază de calcul analitic. Deci, norma tehnică de timp după această metodă se determină prin interpolare.

Această metodă de normare se foloseşte la proiectarea uzinelor sau atelierelor, cînd proiectantul se poate mărgini la norme de timp orientative.

La calculul normei tehnice de timp trebuie să se ţină seama nu numai de timpul operativ T_{op}, care se consumă de către muncitor pentru executarea operaţiei date şi care se repetă la fiecare piesă, ci şi de timpul consumat cu întreruperile lucrului $T_{în}$, necesare pentru odihna muncitorului, dacă acesta execută o muncă grea sau pentru nevoile fireşti ale acestuia în cazul în care lucrul executat nu impune întreruperi de odihnă.

Scanned with OKEN Scanner

În norma tehnică de timp este inclus și timpul necesar pentru deservirea locului de muncă în decursul unui schimb de lucru. În acest timp intră: timpul necesar pentru deservirea organizatorică T_{org}, consumat cu verificarea utilajului, cu primirea și predarea sculelor și pieselor la începutul și sfîrșitul schimbului, cu ungerea și curățirea utilajului de așchii; timpul necesar pentru deservirea tehnică a locului de muncă, T_{th}, în care intră timpul consumat cu schimbarea sculei uzate, cu reglarea periodică la dimensiune a mașinii.

Norma tehnică de timp pe bucată T_{buc}, se determină ca sumă a elementelor ei componente și anume:

$$T_{buc} = T_{op} + T_{in} + T_{des} = T_{op} + T_{in} + T_{org} + T_{th}, \text{ min}, \qquad (3.8.1)$$

unde: T_{op} este timpul operativ pentru 1 bucată, în min; T_{in} — timpul consumat cu întreruperile lucrului raportat la 1 bucată, în min: T_{des} — timpul consumat cu deservirea locului de muncă raportat la 1 bucată, în min.

Atît timpul consumat cu întreruperile lucrului cît și timpul consumat cu deservirea organizatorică a locului de muncă se calculează după următoarele relații:

$$T_{in} = \frac{t_{in}}{100} T_{op}, \qquad (3.8.2)$$

$$T_{org} = \frac{t_{org}}{100} T_{op}, \qquad (3.8.3)$$

în care: t_{in} este timpul consumat cu întreruperile exprimat în procente din timpul operativ; t_{org} — timpul consumat cu deservirea organizatorică a locului de muncă exprimat în procente din timpul operativ.

Ținînd seama de relațiile (3.8.2) și (3.8.3), relația (3.8.1) cu care se calculează norma de tehnică de timp pe bucată devine:

$$T_{buc} = \left(1 + \frac{t_{in}}{100} + \frac{t_{org}}{100}\right) T_{op} + T_{th}. \qquad (3.8.4)$$

La rîndul lui timpul operativ T_{op} este compus din timpul de bază de mașină și timpul auxiliar.

Timpul de bază de mașină este timpul în care are loc schimbarea formei geometrice a dimensiunilor, a proprietăților fizico-mecanice sau a structurii cristaline a materialului piesei ce se prelucrează, în operația dată.

Timpul auxiliar este timpul în care au loc toate acțiunile menite să ajute la executarea lucrului de bază. În el este cuprins timpul necesar pentru așezarea, fixarea, apoi desfacerea și îndepărtarea piesei ce se prelucrează de pe mașina-unealtă, precum și timpul necesar pentru manevrarea diferitelor comenzi ale utilajului respectiv, pentru controlul dimensiunii obținute etc.

Timpul auxiliar la rîndul lui este format din două părți: timpul auxiliar care se consumă în intervalul desfășurării timpului de bază de mașină și timpul auxiliar care se consumă în afara acestuia (adică atunci cînd nu are loc procesul de așchiere). În calculul timpului operativ se introduce numai timpul auxiliar care nu se suprapune peste timpul de bază de mașină.

La lucrul pe mașini-unelte automate *timp auxiliar* este socotit și timpul de mers în gol al diferiților suporți și scule (apropierea și retragerea acestora de piesa ce se prelucrează).

Scanned with OKEN Scanner

Deci, timpul operativ este:

$$T_{op} = T_{bm} + T_a, \tag{3.8.5}$$

pentru operații care se execută pe mașini-unelte universale și

$$T_{op} = T_{bm} + T_g, \tag{3.8.6}$$

pentru operații care se execută pe mașini-unelte automate.

În relațiile (3.8.5) și (3.8.6), T_{bm} reprezintă timpul de bază de mașină; T_a — timpul auxiliar; T_g — timpul de mers în gol.

Timpul de bază de mașină pentru fiecare fază, t_0, la lucrul pe mașini-unelte se determină după relația:

$$t_0 = \frac{L_p}{v_s}, \tag{3.8.7}$$

în care: L_p este drumul pe care-l parcurge scula în direcția mișcării de avans în mm; v_s — viteza de avans de lucru, în mm/min.

Drumul parcurs de sculă în direcția mișcării de avans este format din lungimea suprafeței ce se prelucrează a piesei, la care se adaugă lungimea pînă la care se apropie scula de piesă, fie manual, fie cu avans rapid automat, precum și lungimea drumului parcurs de sculă cu același avans după ieșirea din așchiere.

În unele cazuri (funcție de forma geometrică a piesei și de felul prelucrării) la drumul parcurs de sculă în direcția avansului de lucru nu se mai adaugă „apropierea și ieșirea" sculei.

Relația (3.8.7) poate fi folosită pentru determinarea timpului de bază de mașină t_0 la orice fel de prelucrare mecanică. De exemplu pentru strunjirea unei suprafețe cilindrice:

$$t_0 = \frac{L_p}{ns} = \frac{L_p}{ns}, \text{ min},$$

unde: n este turația piesei, în rot/min; s — avansul longitudinal al cuțitului în mm/rot.

Timpul de bază de mașină necesar pentru executarea unei operații formată din mai multe faze se determină ca sumă a timpilor de bază de mașină pentru fiecare fază și anume:

$$T_{bm} = \sum_{1}^{m} t_0, \tag{3.8.8}$$

unde m este numărul de faze din care este formată operația respectivă.

De asemenea, timpul de bază de mașină pentru o fază formată din mai multe treceri, se determină ca sumă a timpilor de bază pentru fiecare trecere, după aceeași relație (3.8.8).

La prelucrările de lăcătușărie și asamblare care se fac manual, norma tehnică de timp de bază se determină după normative. Aceste normative sînt întocmite ținînd seama de influența factorilor tehnologici de bază asupra lucrului respectiv. Influența acestor factori se determină pe bază de observații.

La fel se determină și timpul auxiliar pentru acest gen de prelucrări.

Timpul întreruperilor $t_{în}$ se determină în procente din timpul operativ, după normative, luîndu-se în considerare bineînțeles condițiile reale de lucru.

Scanned with OKEN Scanner

La prelucrarea pe mașini-unelte timpul pentru întreruperi se ia de obicei 2% din timpul operativ.

La lucrul de asamblare pe linie tehnologică, timpul întreruperilor pentru odihnă și necesitățile firești ale muncitorilor se ia pînă la 7% din timpul operativ.

Timpul de deservire organizatorică, t_{org}, se determină și el în procente din timpul operativ, după normative întocmite pe baza datelor obținute în mod sistematic prin fotografierea zilei de muncă.

La lucrul pe mașini-unelte, timpul pentru deservirea organizatorică a locului de muncă se ia de obicei între 0,5%—7% din timpul operativ, în funcție de timpul și mărimea mașinii-unelte.

La lucrul de lăcătușărie și asamblare acest timp se ia între 2%—8% din timpul operativ, în funcție de felul lucrului respectiv.

Timpul de deservire tehnică T_{th} al locului de muncă se determină citeodată în procente din timpul de bază de mașină. Acest lucru însă de multe ori duce la greșeli însemnate, ceea ce impune necesitatea determinării acestuia prin calcul.

Pentru prelucrările pe mașini-unelte, timpul pentru deservirea tehnică a locului de muncă se determină după următoarea relație:

$$T_{th} = \frac{t_{rc} n_{rc} + t_{is} n_{is} + T_{su}}{n_{pr}}, \qquad (3.8.9)$$

unde: t_{rc} este timpul consumat cu reglarea de compensare la dimensiune a mașinii-unelte în timpul desfășurării lucrului între două reascuțiri ale sculei; n_{rc} — numărul de reglări de compensare a mașinii-unelte în perioada de lucru a sculei între două reascuțiri ale acesteia; t_{is} — timpul consumat cu îndreptarea periodică a muchiei așchietoare a sculei între două reascuțiri ale acesteia; n_{is} — numărul de îndreptări periodice a muchiei așchietoare a sculei între două reascuțiri ale acesteia; T_{su} — timpul consumat cu înlocuirea sculei uzate; n_{pr} — numărul de piese prelucrate în perioada de timp dintre două reascuțiri ale sculei.

Mărimea lui t_{rs}, t_{is} și T_{su} se determină după normative.

La prelucrările de degroșare la care toleranța dimensiunii obținute a piesei ce se prelucrează este mare, scula poate să lucreze fără a mai fi nevoie de îndreptarea periodică a muchiei așchietoare și fără reglări suplimentare periodice la dimensiune a mașinii-unelte. În acest caz relația 3.8.9 după care se calculează timpul pentru deservirea tehnică a locului de muncă se simplifică:

$$T_{th} = \frac{T_{su}}{n_{pr}} \qquad (3.8.10)$$

În perioada dintre două reascuțiri a sculei se pot prelucra un număr de piese:

$$n_{pr} = \frac{T}{T_{buc}}, \qquad (3.8.11)$$

unde: T este durabilitatea muchiei așchietoare a sculei, în min; T_{buc} — norma tehnică de timp pe bucată, în min.

Introducînd valoarea lui n_{pr} din relația (3.8.11) în relația (3.8.10) se obține relația care exprimă dependența dintre timpul de deservire tehnică a locului

Scanned with OKEN Scanner

de muncă, durabilitatea muchiei aşchietoare a sculei şi timpul de bază de maşină:

$$T_{th} = \frac{T_{sh}}{T} T_{buc}. \tag{3.8.12}$$

Norma tehnică de prelucrare pe oră sau schimb se determină după relaţiile:

$$N_{oră} = \frac{60}{T_{buc}}, \text{ buc/oră}; \quad N_{min} = \frac{1}{T_{buc}}, \text{buc/min}; \quad N_s = \frac{60 T_s}{T_{buc}}, \text{ buc/schimb}, \tag{3.8.13}$$

unde: $N_{oră}$ este norma de prelucrare într-o oră; N_s — norma de prelucrare într-un schimb; T_s — durata schimbului de lucru, în ore; T_{buc} — norma tehnică de timp pe bucată, în min.

Dacă se notează cu T norma tehnică de timp şi cu N norma tehnică de prelucrare, atunci se ştie că $T = \frac{1}{N}$ sau $N = \frac{1}{T}$.

Se consideră că norma tehnică de timp se micşorează cu $x\%$, iar N creşte cu $y\%$. În acest caz se poate scrie că:

$$T_2 = T_1 - T_1 \frac{x}{100} = T_1\left(1 - \frac{x}{100}\right); \quad N_2 = N_1 + N_1 \frac{y}{100} = N_1\left(1 + \frac{y}{100}\right);$$

$$N_2 = \frac{1}{T_2}.$$

Deci:

$$N_1\left(1 + \frac{y}{100}\right) = \frac{1}{T_1\left(1 - \frac{x}{100}\right)},$$

rezultă $1 + \frac{y}{100} = \frac{1}{1 - \frac{x}{100}}$, de unde $x\% = \frac{100y}{100 + y}$, iar $y\% = \frac{100\,x}{100 + x}$ (3.8.14)

Fie de exemplu: $N = 100$ min; $T = 48$ buc/schimb. Dacă se micşorează norma tehnică de timp cu 20%, norma tehnică de prelucrare creşte cu:

$$y = \frac{100x}{100 - x} = \frac{100 \cdot 20}{100 - 20} = 25\,\%.$$

Ceea ce înseamnă $T = 80$ min, iar $N = 60$ buc/schimb.

Scanned with OKEN Scanner

De fiecare dată cînd se introduce în fabricaţie un lot nou de piese, se consumă de către muncitor un timp de *pregătire-încheiere*, T_{pi}. Acest timp se consumă de către muncitor cînd acesta studiază desenul şi procesul tehnologic, cînd pregăteşte şi reglează utilajul, fixează dispozitivul şi sculele necesare pentru prelucrarea sau asamblarea lotului respectiv de piese, de asemenea la terminarea lotului cînd se dau jos dispozitivele şi sculele de pe utilajul pe care s-a făcut prelucrarea, precum şi cînd se predă lucrarea executată.

Mărimea timpului pentru pregătire-încheiere este funcţie de gradul de complexitate al piesei ce se prelucrează, de utilajul pe care se face prelucrarea, de caracterul şi felul lucrului, de gradul de complexitate al reglării utilajului. Mărimea acestui timp nu se ia funcţie de mărimea lotului de piese, ci se ia funcţie de mărimea lotului de piese ce se prelucrează.

În norma tehnică de timp ce se calculează pentru întregul lot de piese T_{lot}, acest timp intră ca un factor separat şi anume:

$$T_{lot} = T_{pi} + T_{buc}\, n_{pl}, \qquad (3.8.15)$$

în care: T_{pi} este timpul de pregătire-încheiere (care aşa cum s-a spus nu depinde de mărimea lotului de piesă), în min; T_{buc} — norma de timp pe bucată, în min; n_{pl} — numărul de piese din lot.

În calculul analitic al normei tehnice de timp după cum s-a văzut intră un mare număr de mărimi, care se iau din normative. Aceste mărimi cuprinse în normative au fost determinate pe baza studierii locului de muncă prin observaţii.

Studierea locului de muncă prin observaţii se poate face după două metode de bază: prin cronometraj şi prin fotografierea timpului de lucru.

Prin cronometraj se studiază timpul consumat de către muncitor pentru îndeplinirea ciclică, manual, sau manual şi automat a elementelor operaţiei. Scopul cronometrajului este de a scoate în evidenţă metoda cea mai raţională a executării operaţiei, a stabili durata normală a mişcărilor efectuate de muncitor, pentru ca apoi pe baza datelor obţinute să se întocmească normative care se folosesc la calculul analitic al normelor tehnice de timp.

În producţia de serie mare şi de masă, cu ajutorul acestei metode a cronometrajului se face controlul normelor stabilite pe bază de calcul analitic, pentru a se scoate în evidenţă eventualele suprapuneri care nu au putut fi observate cînd s-a făcut calculul normei respective.

Prin fotografierea timpului de lucru se înţelege metoda de studiu a tuturor consumurilor de timp ale muncitorului şi maşinii în decursul unui schimb complet de lucru sau numai a unei părţi din schimbul de lucru.

De asemenea se mai studiază şi pierderile de timp de lucru şi posibilităţile folosirii la maximum a timpului unui schimb de lucru.

Cu ajutorul acestei metode de bază, pentru scoaterea în evidenţă a pierderilor de timp de lucru şi a rezervelor interne bogate de productivitatea muncii, se pot stabili cele mai raţionale regimuri de lucru, se poate stabili folosirea la maximum a timpului de lucru al muncitorului şi utilajului.

În încheiere se poate spune că norma tehnică de timp şi cea de prelucrare îşi justifică valoarea şi înţelesul lor numai atunci cînd stimulează o mare productivitate a muncii, ceea ce constituie una din legile primordiale ale economiei socialiste.

Scanned with OKEN Scanner

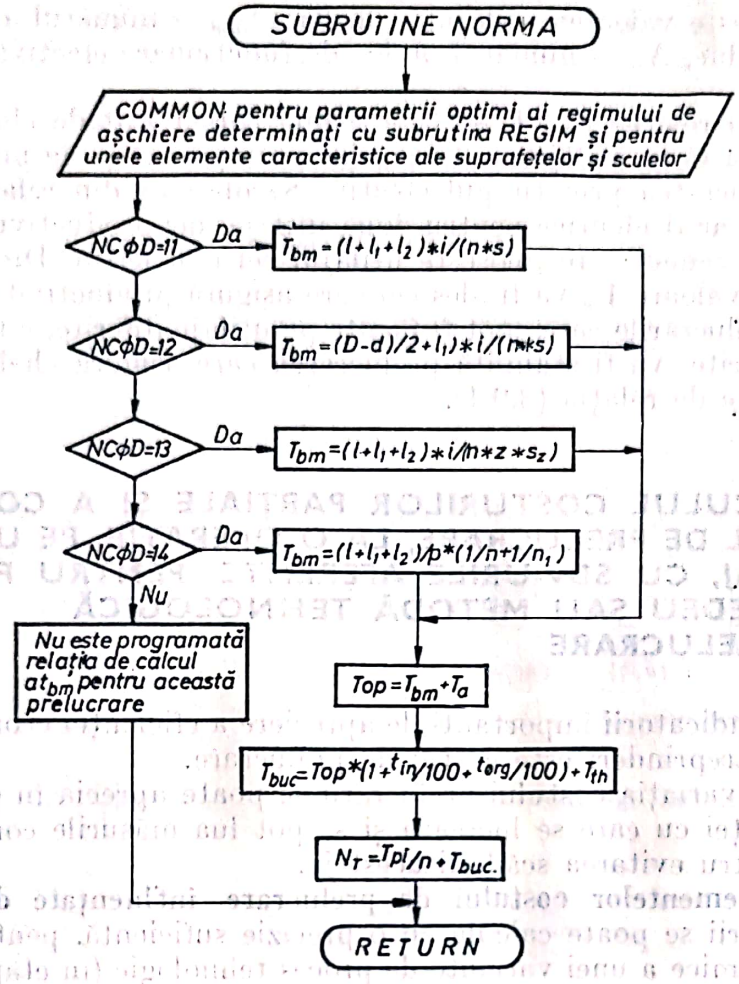


Fig. 3.8.1. Schema logică a subrutinei NORMA.

În vederea calculului normei de timp cu ajutorul calculatorului electronic am elaborat un program în limbaj FØRTRAN, care lucrează ca unitate independentă de tip subrutină denumită NORMA în cadrul programului general. Schema logică a acestei subrutine este prezentată în figura 3.8.1.

3.9. CALCULUL UNUI MINUT-MAȘINĂ PENTRU FIECARE PROCEDEU SAU METODĂ TEHNOLOGICĂ DE PRELUCRARE

Întrucît la stabilirea procedeului și a metodei optime de prelucrare dintre mai multe posibile, un rol important îl are și utilajul folosit, se consideră necesar să se exprime cheltuielile cu utilajul, repartizate pe piesă, independent de celelalte cheltuieli grupate în cheltuielile de regie.

Deoarece, de regulă, utilajul se amortizează într-un număr mare de ani, timp în care fabricarea unui anumit produs poate să înceteze, este potrivit să se exprime aceste cheltuieli în funcție de timpul efectiv necesar prelucrării unei piese pe utilajul respectiv și de costul unui minut-mașină, cu relația:

$$C_u = \frac{V_u}{N_{am} \cdot N_n \cdot 60}, \quad \text{lei/buc}, \qquad (3.9.1)$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: V_u — este valoarea utilajului, în lei; N_{am} — numărul anilor de amortizare a utilajului; N_n — numărul orelor de funcționare efectivă, într-un an, a utilajului.

Cu ajutorul relației (3.9.1) se ține seamă corect atît de cheltuielile care implică folosirea unor utilaje moderne, dar scumpe, cît și de productivitatea prelucrării pe acestea prin timpul efectiv. Se observă din relația (3.9.1) că dacă N_{am} și N_n ar fi identice pentru două utilaje, iar productivitatea aceeași, va fi optim procedeul care folosește utilajul cel mai ieftin. Dintre două utilaje cu aceeași valoare V_u va fi ales cel care asigură productivitatea maximă. Deci, dintre prelucrările care pot fi făcute pe utilaje diferite, cu valori și productivități diferite, va fi stabilită prelucrarea care asigură cheltuieli minime cu utilajul, date de relația (3.9.1).

3.10. CALCULUL COSTURILOR PARȚIALE ȘI A COSTULUI TOTAL DE PRELUCRARE, LA O OPERAȚIE, PE UN ANUMIT UTILAJ, CU SDV-URILE AFERENTE, PENTRU FIECARE PROCEDEU SAU METODĂ TEHNOLOGICĂ DE PRELUCRARE

Unul din indicatorii importanți de apreciere a eficienței economice a activității unei întreprinderi este costul de prelucrare.

Cunoscînd variația costului prelucrării se poate aprecia în orice moment variația eficienței cu care se lucrează și se pot lua măsurile corespunzătoare preventive pentru evitarea scăderii acesteia.

Calculul elementelor costului de prelucrare influențate de tehnologie. Costul prelucrării se poate calcula cu o precizie suficientă, pentru aprecierea eficienței economice a unei variante de proces tehnologic (în etapa de proiectare), după relația:

$$C = C_s + C_a + C_i + C_r + C_e + C_{SD}, \text{ (bani/prelucrare, bani/buc.)} \quad (3.10.1)$$

în care: C_s reprezintă cheltuielile efectuate cu retribuția muncitorului care lucrează pe un utilaj la care ne referim, în bani/prelucrare sau bani/buc; C_a — cheltuieli efectuate cu amortizarea utilajului, în bani/buc. (respectiv bani/piesă prelucrată pe utilajul respectiv la o operație); C_i — cheltuieli efectuate cu întreținerea utilajului, în bani/buc; C_r — cheltuieli efectuate cu reparația utilajului, în bani/buc; C_e — cheltuieli efectuate cu energia de acționare a utilajului, în bani/buc; C_{SD} — cheltuieli efectuate cu proiectarea, realizarea, exploatarea și reparația SDV-urilor, în bani/buc.

În continuare se explicitează fiecare element component al costului prelucrării.

1. *Cheltuielile efectuate cu retribuția muncitorului* se calculează cu următoarea relație simplificată:

$$C_s = k_s \cdot \tau_{buc} \cdot R_t, \text{ bani/buc.,} \quad (3.10.2)$$

în care: k_s reprezintă un coeficient a cărui valoare este funcție de gradul de universalitate a utilajului; τ_{buc} — norma tehnică de timp, în min/buc; R_t — retribuția tarifară corespunzătoare categoriei de complexitate a prelucrării, efectuată de muncitor pe utilajul și la operația respectivă, în bani/min.

Valoarea coeficientului k_s și retribuția tarifară R_t sînt date în tabelul 3.10.1, (după normele Întreprinderii de autocamioane din Brașov).

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.10.1

Valoarea coeficientului K_s și retribuția tarifară R_t

Mașini unelte	Universale	Semiautomate	Speciale
K_s	1,2	1,2	1,3

Trepte	Categorii de încadrare						
	1	2	3	4	5	6	Specială
B	13,250	19,917	14,583	15,583	17,00	18,917	21,167
1	13,417	14,083	14,750	15,917	17,417	19,417	21,833
2	13,583	14,250	15,00	16,920	17,917	20,00	22,283
3	13,750	14,417	15,250	16,583	18,417	20,583	23,333

2. *Cheltuielile efectuate cu amortizarea utilajului* se calculează cu următoarea relație:

$$C_a = \frac{V_u \cdot A \cdot \tau_{buc}}{41\,4000 \cdot \gamma \cdot n_s}, \text{ bani/buc.,} \qquad (3.10.3)$$

în care: V_u reprezintă valoarea utilajului, în lei; A — cota medie anuală de amortizare, în %; γ — coeficientul de încărcare a utilajului; n_s — numărul de piese executate simultan.

Cota medie anuală de amortizare A, funcție de durata amortizării, conform Decretului 393/1976 pentru utilaje, este redată selectiv, pentru principalele utilaje, în tabelul 3.10.2.

3. *Cheltuielile efectuate cu întreținerea utilajului*, se calculează cu relația:

$$C_t = (3 + 0{,}065\ k\sqrt[3]{G})\frac{\tau_{buc}}{n_s}, \text{ bani/buc.,} \qquad (3.10.4)$$

în care: k reprezintă un coeficient de complexitate constructivă a utilajului, a cărui valoare se dă în tabelul 3.10.3; G — masa utilajului, în kg.

4. *Cheltuielile efectuate cu reparațiile utilajului* se calculează cu următoarea relație:

$$C_r = 0{,}228\ k\sqrt[3]{G}\,\frac{\tau_{buc}}{n_s}, \text{ bani/buc.,} \qquad (3.10.5)$$

în care k are aceeași semnificație ca în relația precedentă, iar valoarea lui este dată în tabelul 3.10.3.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.10.2

Cota medie anuală de amortizare A, funcție de durata amortizării

Denumirea utilajului	Durata de amortizare (ani)	Cota medie anuală de amortizare A/%
Strung universal (⌀ 650)	14	9,6
Strung carusel (⌀ 1 500)	21	6,4
Strung carusel (⌀ 1 500)	30	4,5
Strung frontal	30	4,5
Strung revolver semiautomat și automat	21	6,4
Strunguri specializate	28	4,8
Mașini de găurit	21	6,4
Mașini de alezat	14	9,6
Mașini de alezat și frezat orizontale cu montant fix	21	6,4
Mașini de alezat și frezat	30	4,5
Mașini de frezat portal	30	4,5
Mașini de frezat diverse	21	6,4
Mașini de rabotat cu masă mobilă	30	4,5
Mașini de rabotat cu cuțit mobil	21	6,4
Mașini de rectificat	21	6,4
Mașini agregat și linii automate	14	9,6
Mașini de prelucrat prin deformare plastică la rece	21	6,4

Tabelul 3.10.3

Coeficientul de complexitate constructivă a utilajului

Nr. crt.	Denumirea utilajului	Tipul de acționare		
		Electromecanic	Electrohidraulic	Electronică
1.	Strung paralel	0,75	1,5	3,0
2,	Strung revolver	0,72	1,42	2,84
3.	Strung carusel	0,95	1,9	3,8
4.	Mașină de găurit, alezat, filetat	0,55	1,1	2,2
5.	Mașină de frezat, mortezat, rabotat	0,75	1,5	3,0
6.	Mașină de rectificat universală	0,7	1,4	2,8
7.	Mașină de rectificat specială	0,8	1,6	3,2
8.	Alte mașini simple	0,5	1,0	2,0
9.	Alte mașini complexe	0,9	1,8	3,6

Scanned with OKEN Scanner

5. *Cheltuielile efectuate cu energia electrică de acționare a utilajului* se calculează cu relația următoare:

$$C_e = (1{,}2 \cdot P_{ef} \cdot \tau_{bm} + \alpha P \tau_a) \frac{c_{me}}{0{,}6}, \text{ bani/buc.,} \qquad (3.10.6)$$

în care: P_{ef} reprezintă puterea efectivă la sculă ($P_{ef} = 0{,}7\ P$), în kW; α — raportul dintre puterea nominală și puterea de mers în gol a motorului electric (valoarea acestui raport este dată în tab. 3.10.4); P — puterea nominală a motorului electric, în kW; τ_a — timpul auxiliar, în min/buc.; c_{me} — costul mediu al energiei electrice, în lei/min.

Tabelul 3.10.4

Valoarea raportului dintre puterea nominală și puterea de mers în gol a motorului electric

P, kw	0,6	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	4,5	7,5	10	13	17
α	0,155	0,14	0,133	0,119	0,1	0,094	0,084	0,07	0,065	0,06	0,055	0,052

Aceste cheltuieli pot fi calculate și după următoarea relație simplificată:

$$C_e = (0{,}7 + 0{,}33\ \alpha)\ P \frac{\tau_{buc}}{n_s}, \quad \text{bani/buc.}$$

6. *Cheltuielile efectuate cu sculele și dispozitivele* se calculează cu relația:

$$C_{SD} = \left(N_{csg} \cdot k_i n k_{\tau buc} + k_{rd} \frac{P_d}{0{,}5 T_d}\right) \tau_{buc}, \text{ bani/buc.,} \qquad (3.10.7)$$

în care: N_{csg} reprezintă norma grupată a costului mediu al unui minut de exploatare a sculelor fabricate în țară, în bani/min, a cărei valoare se dă în tabelul 3.10.5.

Pentru calculul costului mediu al sculelor din import valorile din tabel se multiplică cu 5.

În relația (3.10.7) n reprezintă numărul de scule cu care se lucrează simultan; $K\tau_{buc}$ — coeficient egal cu 0,85; K_{rd} — coeficient care ține seama de cheltuielile efectuate cu întreținerea și reparația dispozitivelor și sculelor, egal cu 1,3; P_d — costul dispozitivelor și a sculelor auxiliare necesare pentru echiparea mașinii, în lei, care, atunci cînd nu se dispune de valori exacte, se poate aproxima în funcție de valoarea mașinii-unelte; $P_d = m_d \cdot V$, m_d fiind un coeficient determinat funcție de modul de acționare al dispozitivului, conform tabelului 3.10.6, iar T_d reprezentînd durata medie de utilizare pentru dispozitive și scule, în ore efective (după experiența întreprinderii de autocamioane din Brașov) dată în tabelul 3.10.7.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.10.5

Norma costului mediu al unui minut de exploatare a sculelor fabricate în țară

Nr. crt.	Denumirea sculei	Materialul sculei	Materialul de prelucrat				Costul mediu al prelucrării	Costul mediu al sculei
			Oțel		Fontă			
			Degroșare	Finisare	Degroșare	Finisare		
1.	Cuțite	OR CM	6,75 7,12	6,00 6,45	6,15 7,12	5,4 6,45	6,00 6,75	6,6
2.	Cuțite profilate	OR CM	8,32 8,32	8,18 8,32	24,6 24,6	24,6 24,6	16,4 16,5	16,5
3.	Burghie și tarozi	OR CM	18,45 —	18,45 —	10,35 18,53	10,35 18,53	14,4 18,53	19,75
4.	Adîncitoare	OR CM	19,5 23,4	19,5 23,4	15,15 18,00	15,15 18,00	17,32 20,70	18,45
5.	Freze	OR CM	17,48 20,85	17,48 20,85	12,6 19,88	12,6 19,88	15,00 20,25	17,62
6.	Freze melc	OR	39,00	39,00	24,00	24,00	—	31,5
7.	Cuțit roată	OR	43,80	21,75	—	—	—	32,7
8.	Broșe	OR	—	—	—	—	—	45,00
9.	Scule de rectificat	Abraziv	19,93	40,12	9,75	15,15	—	12,8
10.	Fierăstraie circulare	OSC	—	—	—	—	—	26,25
11.	Alte scule	OSC OR CM	10 20 30	8 16 25	9 18 30	6 15 25	8 16 28	16

Tabelul 3.10.6

Coeficientul modului de acționare al dispozitivului

Modul de acționare	Mașina-unealtă		
	universală	semiautomată	specială
mecanică	0,04	0,06	0,08
pneumatică	0,06	0,08	0,1
hidraulică	0,08	0,1	0,12

Tabelul 3.10.7

Durata medie de utilizare pentru dispozitive și scule

Dispozitiv	mare	mijlociu	mic
T_d (ore)	22 000	14 500	8 000

Scanned with OKEN Scanner

3.11. ALGORITMUL DM 2 PENTRU DETERMINAREA VARIANTEI OPTIME A PROCESULUI TEHNOLOGIC TIPIZAT DE PRELUCRARE A PIESEI REPREZENTATIVE ȘI A URMĂTOARELOR 2–3 VARIANTE

Pentru determinarea variantei optime a procesului tehnologic tipizat de prelucrare a piesei reprezentative a clasei sau grupei de piese, se întocmește un graf tehnologic al procedeelor și metodelor tehnologice de prelucrare a suprafețelor ei elementare, prevăzute în tabelul centralizator 3.5.1.

Un exemplu de graf tehnologic al procedeelor și metodelor tehnologice de prelucrare a unei piese reprezentative oarecare cu numai patru suprafețe elementare, este reprezentat în figura 3.11.

Fiecare vîrf al grafului tehnologic respectiv reprezintă o operație sau o fază a unei operații în care se prelucrează cîte o suprafață elementară a piesei reprezentative, cu diverse procedee sau metode tehnologice de prelucrare, prevăzute în tabelul centralizator.

Vîrfurile grafului sînt legate între ele cu arce orientate, care reprezintă procedeele sau metodele tehnologice de prelucrare,prin care s-a prevăzut în tabelul centralizator că pot fi prelucrate suprafețele elementare respective.

Arcele grafului tehnologic sînt valorizate fie prin costul prelucrării suprafețelor elementare cu procedeele sau metodele tehnologice prevăzute, fie prin timpul de lucru.

De la un vîrf la altul al grafului tehnologic poate exista unul sau mai multe arce orientate, ceea ce înseamnă, că o suprafață elementară sau mai multe suprafețe elementare se prelucrează prin unul sau mai multe procedee sau metode tehnologice de prelucrare, într-o operație simplă sau în una concentrată.

Pentru a se ușura determinarea variantei optime a procesului tehnologic tipizat de prelucrare a suprafețelor elementare ale piesei reprezentative cu ajutorul grafului tehnologic amintit, la construirea lui se impune a fi respectată următoarea condiție:

$$C_{i_1} \leqslant C_{i_2} \leqslant C_{i_3} \leqslant \ldots \leqslant C_{ij},$$

în care: C reprezintă costul prelucrării suprafeței elementare i, în bani/buc, prin procedeul $j(i = 1,2,3, \ldots, n;\ j = 1,2,3, \ldots, m)$.

Varianta optimă a procesului tehnologic tipizat de prelucrare a suprafețelor elementare ale piesei, este echivalentă cu *drumul hamiltonian de lungime minimă* în graful tehnologic construit.

Atunci cînd graful tehnologic are un număr mare de vîrfuri și arce, determinarea drumului hamiltonian de lungime minimă este foarte dificilă. De aceea, în astfel de cazuri graful tehnologic respectiv se descompune în *grafuri elementare* (un graf elementar fiind graful care nu are și arce care sar peste unul sau mai multe vîrfuri).

Astfel, graful tehnologic din figura 3.11 se descompune în grafurile elementare reprezentate în figura 3.11.1.

Pentru determinarea drumului hamiltonian de lungime minimă, precum și a tuturor celorlalte drumuri hamiltoniene existente în grafurile elementare, *se atașează* acestora cîte o matrice elementară $M_K = [m_{ij}]$ în care: $m_{ij} = C_{ij}$, iar K reprezintă numărul matricei elementare, respectiv a grafului elementar.

Și la întocmirea matricelor elementare trebuie să se respecte aceeași condiție enunțată mai sus, ca: $C_{i_1} \leqslant C_{i_2} \leqslant C_{i_3} \leqslant \ldots \leqslant C_{ij}$.

Scanned with OKEN Scanner

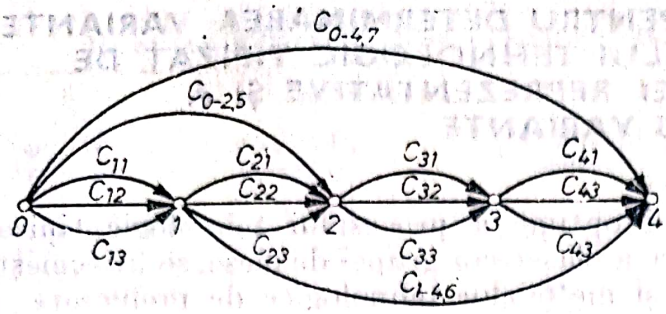


Fig. 3.11. Graful tehnologic al procedeelor și metodelor tehnologice de prelucrare a suprafețelor elementare.

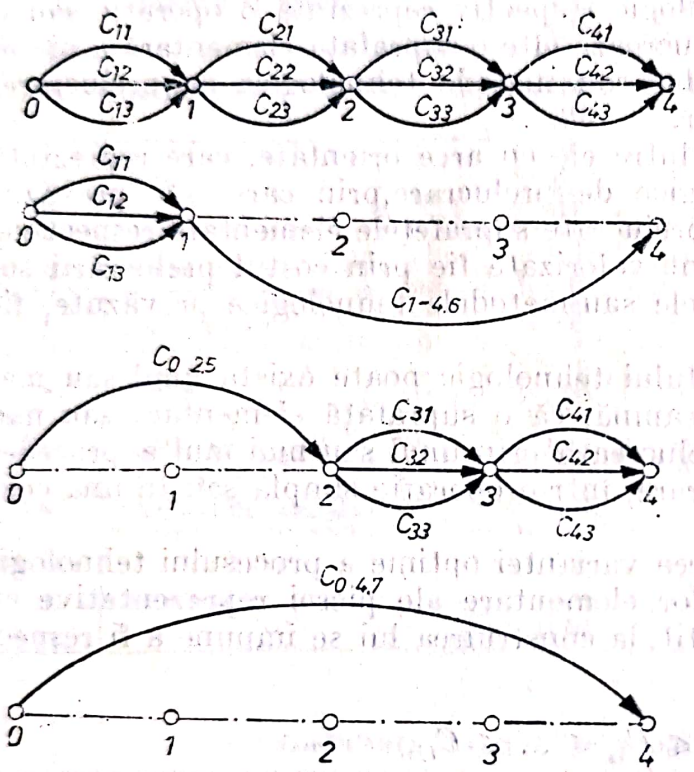


Fig. 3.11.1. Grafuri elementare construite din graful tehnologic din figura 3.5.4.

$$M_1 = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{21} & C_{31} & C_{41} \\ C_{12} & C_{22} & C_{32} & C_{42} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & C_{43} \end{bmatrix}$$

$$M_2 \begin{bmatrix} C_{11} & 0 & 0 & C_{1-4.5} \\ C_{12} & 0 & 0 & C_{1-4.6} \\ C_{13} & 0 & 0 & C_{1-4.6} \end{bmatrix}$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} C_{0-25} & 0 & C_{31} & C_{41} \\ C_{0-25} & 0 & C_{32} & C_{42} \\ C_{0-25} & 0 & C_{33} & C_{43} \end{bmatrix}$$

$$M_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & C_{0-4.7} \\ 0 & 0 & 0 & C_{0-4.7} \\ 0 & 0 & 0 & C_{0-4.7} \end{bmatrix}$$

Fig. 3.11.2. Matricile asociate grafurilor elementare.

Matricele elementare asociate grafurilor elementare din figura 3.11.1. sînt reprezentate în figura 3.11.2.

Drumurile hamiltoniene de lungime minimă și toate celelalte drumuri hamiltoniene (cu lungimi diferite) în grafurile elementare, se identifică cu ajutorul matricelor elementare M_K, prin *însumarea elementelor matricelor respective*, elemente care așa cum s-a arătat mai sus, reprezintă lungimea arcelor din grafurile elementare valorizate prin costurile de prelucrare a suprafețelor elementare ale piesei reprezentative, prelucrate prin diverse procedee sau metode tehnologice de prelucrare prevăzute în tabelul centralizator.

Însumarea elementelor unei matrice elementare se face, luînd drept *pivot* cîte o coloană a matricei și însumîndu-l cu fiecare element al tuturor liniilor matricei respective.

După efectuarea însumărilor se calculează lungimea fiecărui drum hamiltonian și apoi se ordonează crescător funcție de mărimea lungimii drumurilor

Scanned with OKEN Scanner

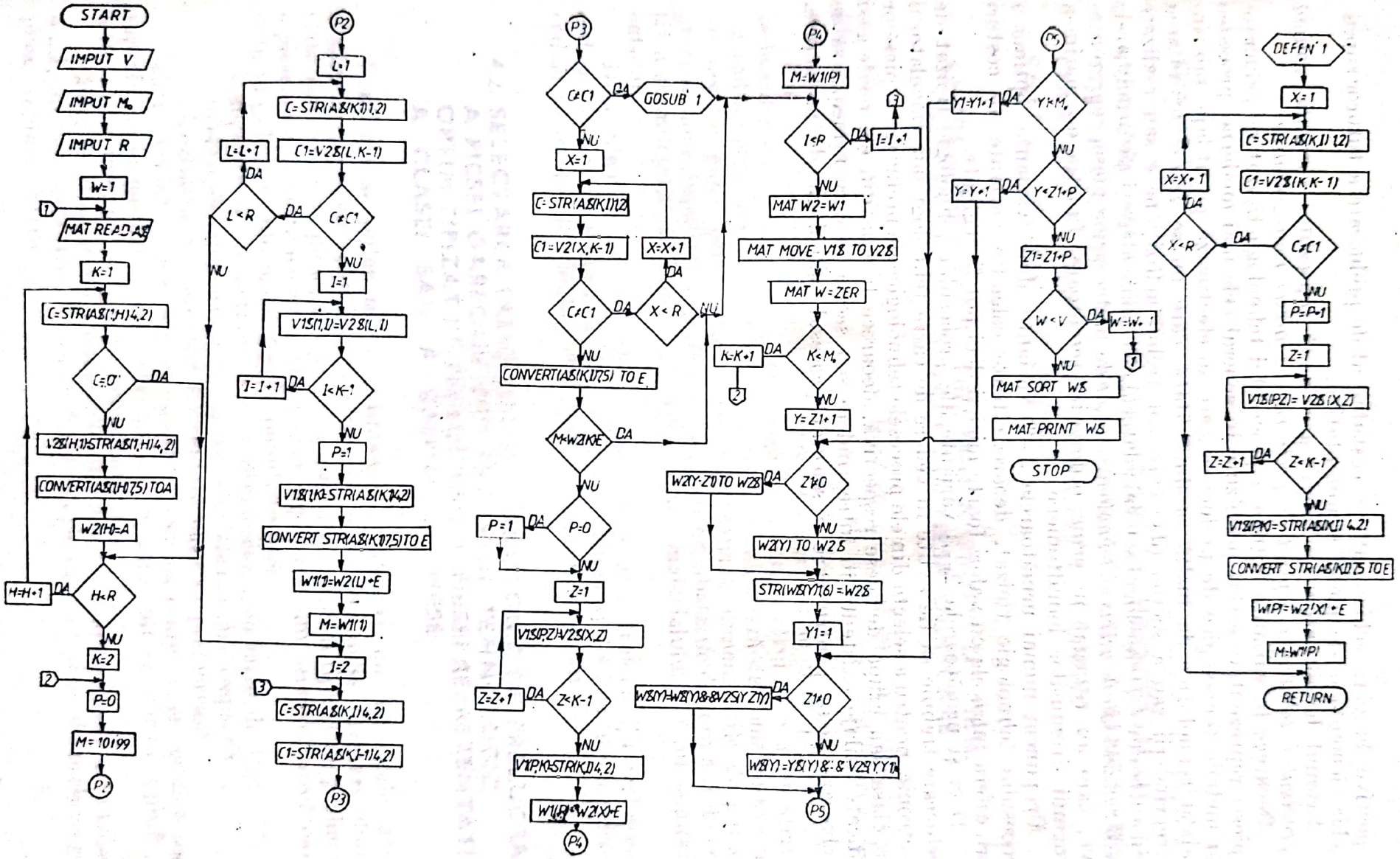


Fig. 3.11.3. Schema logică de calcul a algoritmului DM2 pentru determinarea variantei optime a procesului tehnologic tipizat de prelucrare a piesei reprezentative.

Scanned with OKEN Scanner

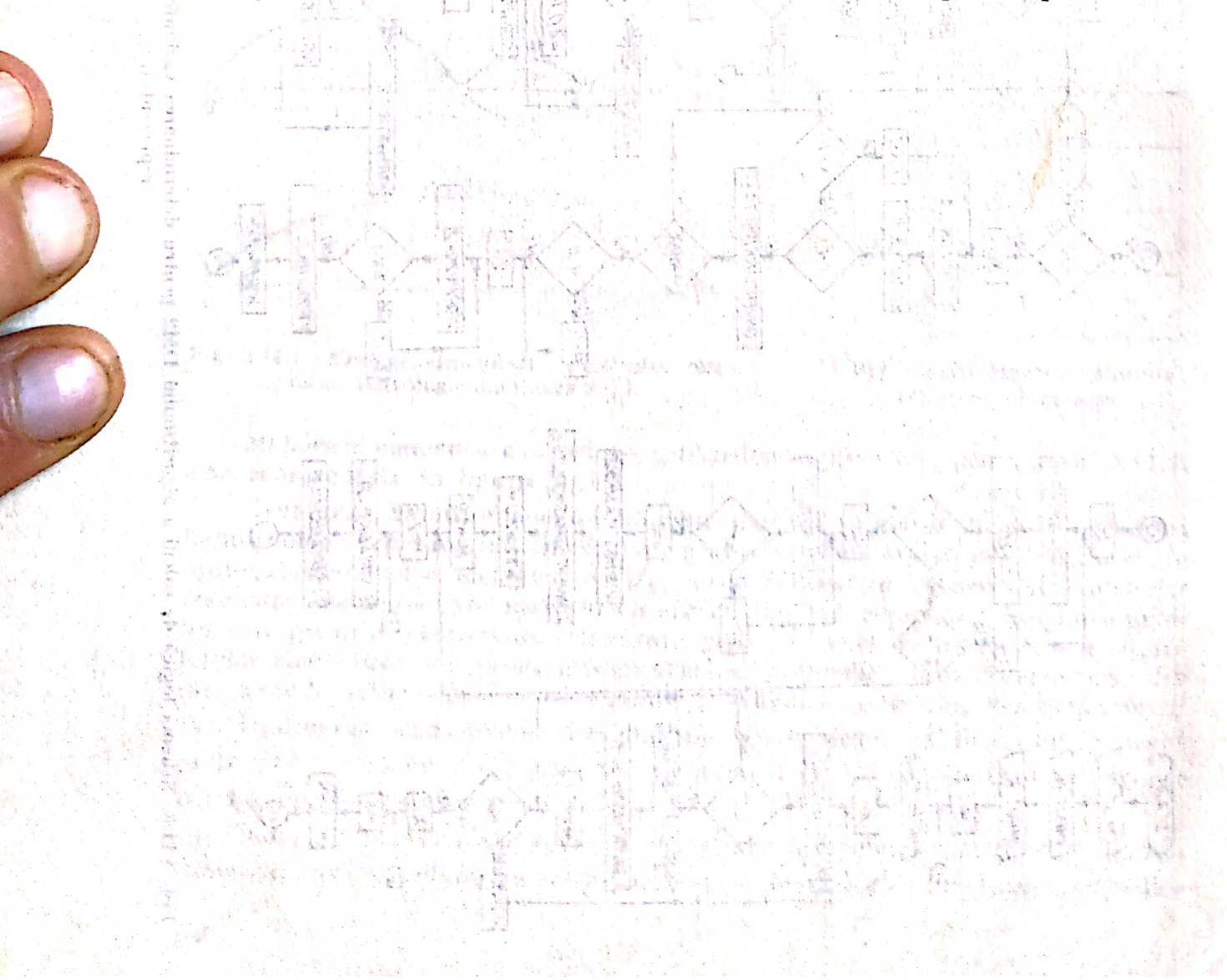
respective, lungime echivalentă cu costul total de prelucrare a tuturor suprafeţelor elementare ale piesei reprezentative.

Drumul hamiltonian cu *lungimea minimă* reprezintă *varianta optimă a procesului tehnologic tipizat de prelucrare a piesei reprezentative.*

Deoarece în varianta optimă a procesului tehnologic tipizat de pelucrare a piesei reprezentative sînt prevăzute în general cele mai moderne procedee sau metode tehnologice de prelucrare, care se efectuează pe utilaje sau instalaţii tehnologice de înaltă productivitate, care nu se găsesc în dotarea întreprinderii sau a secţiei (dar care vor trebui achiziţionate sau realizate prin autodotare), tehnologul sau calculatorul electronic alege şi pe următoarele *2—3 variante ale procesului tehnologic tipizat* de prelucrare a piesei reprezentative, care au rezultat în urma ordonării crescătoare, funcţie de mărimea lungimii drumurilor hamiltoniene.

Propunem numai următoarele 2—3 variante, după varianta optimă a procesului tehnologic tipizat, deoarece toate celelalte variante au costuri care diferă între ele cu valori foarte mici şi deci pot fi neglijate.

Deci şi următoarele 2—3 variante ale procesului tehnologic tipizat de prelucrare trebuie să fie avute în vedere de către tehnologi sau calculatorul electronic, pentru a selecta din ele procesele tehnologice de prelucrare a pieselor din clasa sau grupa de piese respectivă, deoarece în una din ele poate găsi indicate utilaje existente în întreprindere sau secţia în care urmează să se prelucreze piesa pentru care a selectat procesul tehnologic de prelucrare.



Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 4

ALGORITMUL DE PROIECTARE A PROCESULUI TEHNOLOGIC OPTIM DE PRELUCRARE A UNEI PIESE OARECARE DIN COMPONENȚA CLASEI SAU A GRUPEI DE PIESE

4.1. IDENTIFICAREA CLASEI SAU A GRUPEI DE PIESE ÎN CARE POATE FI INCLUSĂ PIESA OARECARE

Datorită avantajelor pe care le oferă sistemul de clasificare U.H.Bv. (descris în paragraful 5.2.3.1.1), acesta a fost utilizat în identificarea clasei sau a grupei de piese în care poate fi inclusă piesa oarecare.

Pentru o identificare corectă a clasei sau a grupei de piese, pe baza caracteristicilor lor constructive și tehnologice comune, fiecărei piese i s-a atribuit un cod format din zece cifre. În acest scop se analizează desenele de execuție ale acestor piese, urmărindu-se forma geometrică, dimensiunile de gabarit, precizia dimensională și rugozitatea suprafețelor, abaterile de formă și de poziție a suprafețelor, tratamentul termic, natura materialului și felul semifabricatului.

Deci, identificarea clasei sau a grupei de piese se face cu ajutorul acestui cod zecimal atribuit piesei oarecare și care trebuie să fie identic cu celelalte coduri zecimale ale pieselor din clasa sau grupa respectivă.

4.2. SELECTAREA PROCESULUI TEHNOLOGIC DE PRELUCRARE A PIESEI OARECARE DIN PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A PIESEI REPREZENTATIVE A CLASEI SAU A GRUPEI DE PIESE

Pentru a se putea selecta manual sau automat de către calculatorul electronic procesul tehnologic de prelucrare a unei piese oarecare dintr-o clasă sau grupă de piese, din procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative a clasei sau grupei respective, sînt necesare următoarele date inițiale sau informații despre piesa oarecare:

— suprafețele elementare care se prelucrează, cu codurile lor;
— toleranțele dimensiunilor suprafețelor elementare respective;
— rugozitățile suprafețelor elementare care se prelucrează.

Este absolut necesar ca pe desenul piesei oarecare să se codifice toate suprafețele elementare cu aceleași coduri, cu care sînt codificate suprafețele elementare identice ale piesei reprezentative.

Codurile suprafețelor elementare ale piesei oarecare se înscriu în tabelul 4.2.1, în care este trecut procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative.

Scanned with OKEN Scanner

Pe linia în care este înscris codul unei piese se înscriu, de la dreapta spre stînga, numai rugozităţile şi toleranţele suprafeţelor elementare ale piesei „oarecare", în coloanele corespunzătoare codurilor suprafeţelor elementare ale piesei reprezentative. Coloanele corespunzătoare cu codurile suprafeţelor elementare ale piesei repezentative care nu există la piesa „oarecare" nu se completează (vezi exemplul din tabelul 4.2.2.).

În tabelul 4.2.1., ultimul grup de coloane (în „centralizator") se completează pentru toate piesele componente ale clasei sau grupei respective.

Cînd apar piese noi în clasa sau grupa respectivă de piese, acestea sînt trecute în continuare în „centralizatorul" tabelului.

În procesele tehnologice de prelucrare ale pieselor componente ale clasei sau grupei de piese, selectate din procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative, nu sînt trecute valorile dimensiunilor intermediare, regimurile de aşchiere, normele tehnice de timp şi costurile prelucrărilor. Acestea se calculează în etapa următoare a *„algoritmului de proiectare a procesului tehnologic de prelucrare a unei piese oarecare"* (vezi: 2.2, etapa 3) intitulată „Optimizarea definitivă a procesului tehnologic de prelucrare selectat".

Această „optimizare" este necesară deoarece atunci cînd s-a proiectat procesul tehnologic tipizat de prelucrare a piesei reprezentative, regimul de aşchiere nu a fost calculat ştiinţific (nefiind necesar), ci a fost prescris din normative.

Tabelul 4.2.1.

PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT PENTRU PRELUCRAREA PIESEI REPREZENTATIVE A CLASEI SAU GRUPEI											CENTRALIZATOR CU SUPRAFEŢELE NEEXISTENTE LA UNELE PIESE DIN GRUPĂ											
Nr. operaţiei	Suprafaţa elementară (denumire)	Codul suprafeţei elementare [XXYYZZ]	Dimensiunea finală a suprafeţei [mm]	Toleranţa finală impusă T_i [mm]	Rugozitatea impusă R_i [mm]	Denumirea procedeului	Utilajul	Scule	Dispozitive	Verificatoare	Suprafeţe ale piesei reprezentative neexistente la unele repere din grupă (codul)										Codul zecimal al reperului (numărul de calculator al reperului)
											Rugozitatea R_i [mm] Toleranţa T_i [mm]								①		
											R_i	T_i	R_i	T_i	R_i	T_i	R_i	T_i	R_i	T_i	R_i	T_i	
		①		③	②														②	③			

Elementele selectării:

1. *Codul suprafeţei [XXYYZZ]*
2. *Rugozitatea impusă pe desenul de execuţie [R_i]*
3. *Toleranţa dimensională finală impusă [T_i]*

4.3. OPTIMIZAREA DEFINITIVĂ A PROCESULUI TEHNOLOGIC DE PRELUCRARE SELECTAT

4.3.1. CALCULUL ADAOSULUI DE PRELUCRARE ŞI AL DIMENSIUNILOR INTERMEDIARE

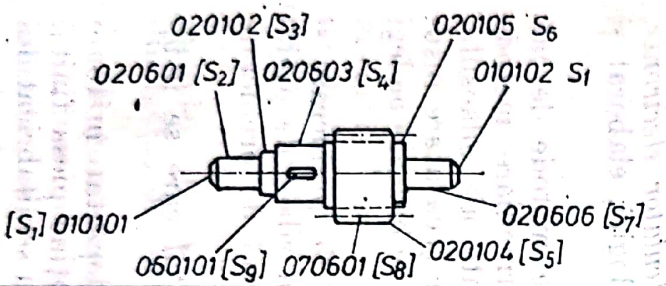
Calculul adaosului de prelucrare şi al dimensiunilor intermediare reprezintă o etapă foarte importantă în proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare mecanică, deoarece valoarea lor influenţează direct asupra preciziei de prelucrare, productivităţii, costului prelucrării etc.

Cu cît adaosul de prelucrare este mai mare, cu atît mai mare este componenta normală F_y a forţei de aşchiere, iar odată cu creşterea acesteia creşte şi deformaţia elastică a sistemului tehnologic maşină-unealtă-piesă-sculă,

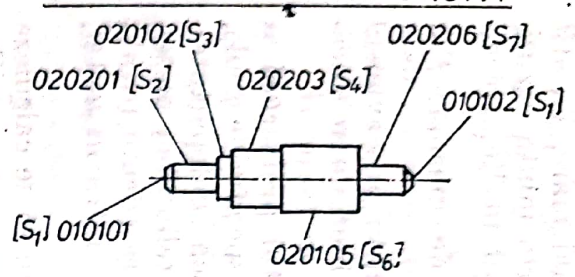
Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.2.2.

PIESA REPREZENTATIVĂ A CLASEI SAU GRUPEI



PIESĂ CONCRETĂ DIN GRUPĂ



PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT PENTRU PRELUCRAREA PIESEI REPREZENTATIVE A CLASEI SAU GRUPEI

CENTRALIZATOR CU SUPRAFEȚELE NEEXISTENTE LA UNELE PIESE DIN GRUPĂ

Nr. operației	Denumirea suprafeței elementare	Codul suprafeței elementare XX YY ZZ	Dimensiunea finală a suprafeței [mm]	Toleranța finală impusă [μm]	Rugozitatea impusă [μm]	Denumirea procedeului	Utilajul	Scule	Dispozitive; verificatoare	SUPRAFEȚE ALE PIESEI REPREZENTATIVE NEEXISTENTE LA UNELE REPERE DIN GRUPĂ — RUGOZITATEA R_i [μm], TOLERANȚA T_i [μm]	CODUL ZECIMAL AL REPERULUI NR. DE CALCULATOR AL REPERULUI
										––– S_7 S_6 S_5 S_4 S_3 S_2 S_1	
										– – R_i 6,3 R_i 12,5 – – 6,3 12,5 6,3 . 6,3	
• 1	Suprafața frontală, găuri de centrare	010101 [S1] 010102			6,3	Frezare-centruire	Agregat de frezat și centruit	Freze frontale, burghie de centrare	Dispozitiv de prindere		2230108466
• 2	Suprafața cilindrică exterioară	02:0101;0102 0103;0104 0105;0106			12,5	Strunjire	Strung de copiat	Cuțite de strung	Dispozitiv de prindere		
3	Dantura	07010 [S8]			6,3	Frezare	Mașină de frezat dantură	Freză melc.	Dispozitiv, Micrometru		
• 4	Suprafața cilindrică exterioară	020201 [S2] 020203 [S4] 020206 [S7]			6,3	Strunjire	Strung de copiat	Cuțite de strung	Dispozitiv de prindere		
5	Canal de pană	060101 [S9]			6,3	Frezare	Mașina de frezat canale	Freză deget	Dispozitiv de prindere		
6						Tratament termic					
7	Suprafața cilindrică exterioară	020601 [S2] 020503 [S4] 020606 [S7]			1,6	Rectificare	Mașina de rectificat exterior		Dispozitiv de prindere		
8	Dantura	070601 [S8]			1,6	Rectificare	Mașina de rectificat tip Niles		Dispozitiv de prindere		

• Procesul tehnologic de prelucrare a unei piese concrete din grupă selectat din procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative a clasei sau grupei

Scanned with OKEN Scanner

fapt care influențează direct asupra preciziei de prelucrare dimensională și geometrică a piesei. Cu cît adaosul de prelucrare este mai mare, cu atît productivitatea prelucrării este mai mică, deoarece, în foarte multe cazuri, adaosul de prelucrare respectiv trebuie îndepărtat din mai multe treceri $\tau_{bm} = \frac{la_b}{nst} = \frac{l}{ns} i$, în care τ_{bm} reprezintă timpul de bază de mașină; l — — lungimea parcursă de sculă cu avans de lucru; n — turația; s — avansul de lucru; a_b — adaosul de prelucrare; t — adîncimea de așchiere la o trecere; i — numărul de treceri.

Cu creșterea timpului de bază de mașină, crește costul prelucrării și datorită consumului specific mai mare de scule (consumul specific de scule, reprezentînd consumul de scule pentru un decimetru cub de așchii îndepărtate).

Un adaos de prelucrare prea mic poate duce însă la rebutarea piesei, fie că nu pot fi eliminate erorile de formă din operațiile precedente (ovalitate, excentricitate, conicitate etc.), fie că tăișul nu poate intra în metal, provocînd tasări și ciupituri intermitente.

De aceea, se impune ca mărimea adaosului de prelucrare să se calculeze pentru fiecare operație în funcție de factorii dependenți care iau parte nemijlocit la procesul de așchiere, pentru a se asigura obținerea unei precizii de prelucrare și productivități ridicate și a unui cost al prelucrării cît mai mic posibil.

În producție, mărimea adaosului de prelucrare se mai determină încă după normative, întocmite fie pe baza datelor experimentale, fie pe bază statistică. În general, mărimile adaosurilor de prelucrare prevăzute în normative sînt mult mai mari decît cele necesare pentru fiecare caz în parte.

Pentru a putea lua în considerare toți factorii independenți care concură la determinarea valorii adaosului de prelucrare, astfel încît să se asigure precizia impusă, la costul minim metoda prezentată preconizează utilizarea teoriei probabilității și a statisticii matematice *pe un calculator electronic*, în cadrul unui sistem de proiectare automată a tehnologiei, elaborat și experimentat în catedra T.C.M. a Universității din Brașov.

Trebuie să subliniem faptul, că spre deosebire de alte metode de calcul al adaosului de prelucrare și a dimensiunilor intermediare metoda expusă mai jos, consideră că toate elementele componente ale adaosului de prelucrare sînt mărimi variabile cu caracter întîmplător și ca atare însumarea lor trebuie să se facă nu aritmetic, ci după relații care se bazează pe legi ale teoriei probabilității și statisticii matematice.

Înainte de a prezenta metoda de calcul a adaosului de prelucrare și a dimensiunilor intermediare, trebuie să precizăm că există adaos de prelucrare intermediar și adaos de prelucrare total. Atît adaosul de prelucrare intermediar cît și cel total poate fi *simetric* sau *asimetric*.

Adaosul de prelucrare intermediar este stratul de metal care se îndepărtează în fiecare operație de pe suprafața piesei.

Adaosul de prelucrare total este stratul de metal îndepărtat în toate operațiile de pe suprafața semifabricatului pentru a se obține piesa finită. Mărimea lui este egală cu diferența dintre dimensiunea semifabricatului și a piesei finite.

Dimensiunea intermediară este dimensiunea care se obține în fiecare operație a procesului tehnologic după îndepărtarea adaosului de prelucrare intermediar (afară de cea din ultima operație în care se obține *dimensiunea finită*).

Adaosul de prelucrare se notează cu a însoțit de indicele a cînd este vorba de adaosul de prelucrare care s-a îndepărtat în operația precedentă (a_a) și de

Scanned with OKEN Scanner

indicele b pentru cel care se îndepărtează de pe suprafața care se prelucrează în operația curentă (a_b).

Componentele adaosului de prelucrare sînt aceleași ca și în metoda lui *Kovan* (H_a este înălțimea medie a microasperităților suprafeței prelucrate în operația precedentă; T_a — adîncimea stratului cu structura deteriorată din operația precedentă; $\overline{\rho}_a$ — suma vectorială a erorilor spațiale a suprafețelor piesei legate reciproc, obținute în operația precedentă). Numai mărimea $\overline{\varepsilon}_b$ este împărțită în două componente și anume: eroarea de bazare $\overline{\varepsilon}_{bz}$ și eroarea de așezare $\overline{\varepsilon}_{aș}$.

În afară de aceasta la toate fazele sau operațiile precedente și curente se iau în considerare toleranțele la dimensiunile suprafețelor care se prelucrează $\overline{\delta}_a$ și $\overline{\delta}_b$.

Avînd în vedere faptul, că valorile tuturor mărimilor care compun adaosul de prelucrare nu sînt constante, pentru calculul adaosului de prelucrare și al dimensiunilor intermediare se introduc următoarele caracteristici ale dispersărilor:

δ este jumătatea cîmpului de dispersie;

Δ — coordonata jumătății cîmpului de dispersie;

k — coeficient al dispersării relative;

α — coeficient al asimetriei relative a dispersării în cîmpul de toleranță.

Toate caracteristicile dispersării se însoțesc cu indicele acelei mărimi la care se referă. Astfel de exemplu, pentru adîncimea stratului cu structura deteriorată se notează cu: δ_{T_a}; Δ_{T_a}; k_{T_a}; α_{T_a}.

În calculele care se fac pentru determinarea mărimii adaosului de prelucrare, se utilizează următoarele relații ale lanțurilor de dimensiuni:

$$N_\Sigma = \sum_i \Delta_i N_i; \tag{4.3.1}$$

$$\overline{\delta}_\Sigma = \frac{1}{k_\Sigma}\sqrt{\sum_i A_i^2 k_i^2 \delta_i^2 + \sum_i A_s^2 k_s^2 \delta_s^2}; \tag{4.3.2}$$

$$\Delta_\Sigma = \sum_i A_i(\Delta_i + \alpha_i \delta_i) - \alpha_\Sigma \delta_\Sigma; \tag{4.3.3}$$

$$AS_\Sigma = \Delta_\Sigma + \overline{\delta}_\Sigma; \tag{4.3.4}$$

$$AJ_\Sigma = \Delta_\Sigma - \overline{\delta}_\Sigma, \tag{4.3.5}$$

în care: N_Σ este dimensiunea nominală a elementului de închidere a lanțului de dimensiuni; A — raportul de transmitere care face legătura între un element component și elementul de închidere al lanțului de dimensiuni; AS_Σ și AJ_Σ — abaterea superioară, respectiv inferioară a dimensiunii elementului de închidere a lanțului de dimensiuni; Σ — indice care se referă la elementul de închidere al lanțului de dimensiuni; i — indice care se referă la elementul i din lanțul de dimensiuni; $\sum_i$ — însumarea tuturor erorilor.

Rugozitatea suprafeței prelucrate se notează după cum se știe cu R_z (înălțimea microasperităților) și cu R_a (înălțimea medie aritmetică a microasperităților).

Pentru o mai mare precizie a calculelor se consideră că mărimea rugozității variază în limitele unei clase de rugozitate între o valoare minimă și una maximă. Valoarea cea mai mică a rugozității clasei respective ($R_{z_{min}}$) se va considera că este valoarea cea mai mare ($R_{z_{max}}$) a clasei imediat superioare de rugozitate.

Scanned with OKEN Scanner

Valoarea nominală N_{R_z} a rugozității se consideră egală cu zero și atunci coordonata mijlocului cîmpului de dispersie a rugozității va fi:

$$\Delta_{R_z} = \frac{R_{z_{max}} + R_{z_{min}}}{2}, \tag{4.3.6}$$

iar jumătatea cîmpului de dispersie a rugozității:

$$\overline{\delta}_{R_z} = \frac{R_{z_{max}} - R_{z_{min}}}{2}. \tag{4.3.7}$$

Dispersarea mărimii rugozității are loc după legea probabilității egale (fig. 4.3.1), pentru care $K_{R_z} = 1{,}73$ iar $\alpha_{R_s} = 0$.

Din măsurările practice s-a constatat că adîncimea stratului defect T_a se dispersează în cîmpul de dispersie după *legea lui Maxwell* (fig. 4.3.2), conform căreia $\Delta_T = \overline{\delta}_T = 0{,}5T_a$, $k_T = 1{,}14$ și $\alpha_T = -0{,}28$.

Și în acest caz valoarea nominală a adîncimii stratului defect $N_T = 0$.

Abaterile spațiale $\overline{\delta}_a$ la prelucrarea, de exemplu, a barelor se supun legii de dispersie a lui *Maxwell*.

Abaterile și valorile numerice ale erorii de bazare $\overline{\varepsilon}^b_{bz}$ se determină în funcție de schemele de așezare ale piesei în dispozitivul de fixare. De exemplu, la strunjirea interioară a unei bucșe fixate într-un universal cu trei bacuri eroarea de bazare $\overline{\varepsilon}^b_{bz}$ este egală cu mărimea excentricității găurii față de suprafața exterioară a bucșei, care este o mărime pozitivă, iar dispersia ei se supune legii de dispersie a lui *Maxwell*.

Mărimea erorii de așezare $\overline{\varepsilon}^b_{aș}$ la prelucrarea barei sau a unei bucșe fixate în universal se determină ca fiind egală cu bătaia radială a părții din bară care se prelucrează, bătaie provocată la așezarea și strîngerea ei în universal. În mod analog cu $\overline{\varepsilon}^b_{bz}$ eroarea de așezare $\overline{\varepsilon}^b_{aș}$ este pozitivă și se consideră, că se dispersează după *legea lui Maxwell*.

La prelucrarea suprafețelor de revoluție erorile $\overline{\rho}_a$, $\overline{\varepsilon}^b_{bz}$ și $\overline{\varepsilon}^b_{aș}$ sînt mărimi vectoriale; modulele lor, după cum s-a arătat mai sus, sînt dispersate (la prelucrarea unui lot de piese) după *legea lui Maxwell*, iar unghiul lor de rotire de la $0 \ldots 2\pi$ se consideră, că se dispersează după legea probabilității egale. Însumarea acestor mărimi se face după legea rădăcinii pătrate.

Cea mai mare din mărimile $\overline{\rho}_a$, $\overline{\varepsilon}^b_{bz}$ și $\overline{\varepsilon}^b_{aș}$ se consideră drept mărime scalară și se introduce în formulele respective pentru însumarea caracteristicilor probabile ale modulului acestei mărimi dispersate după *legea lui Maxwell*, pentru care:

$$\Delta_s = \delta_s = 0{,}5\overline{\rho}_a (\text{sau } \overline{\varepsilon}_b);\ k_s = 1{,}14;\ \alpha_s = -0{,}28.$$

Toate celelalte mărimi fiind considerate mărimi vectoriale se proiectează ca valori scalare, avînd în vedere dispersarea lor atît după modul cît și după

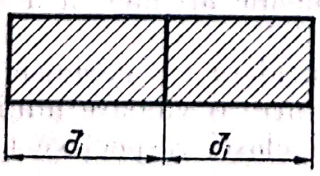


Fig. 4.3.1. Dispersarea mărimii rugozității R_z după legea probabilității egale.

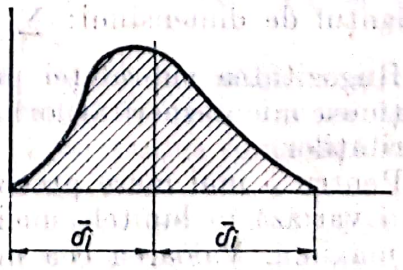


Fig. 4.3.2. Dispersarea adîncimii stratului defect T_a după legea lui Maxwell.

unghiul de rotație. Pentru dispersarea proiecției mărimilor vectoriale se iau caracteristicile:

$$\overline{\delta}_{xs} = \frac{1}{4}\overline{\varepsilon}(\text{sau } \overline{\rho}_a);\ \Delta_{xs} = 0;\ k_{xs} = 1{,}73;\ \alpha_{xs} = 0,$$

unde k_{xs} este coeficient al dispersării relative, care la dispersarea modulului mărimilor $\overline{\rho}_a$, $\overline{\varepsilon}^b_{bz}$ și $\overline{\varepsilon}^b_{aș}$ după legea probabilității egale se ia egal cu 1,73.

Valorile nominale ale mărimilor $\overline{\rho}_a$, $\overline{\varepsilon}^b_{bz}$ și $\overline{\varepsilon}^b_{aș}$ în toate cazurile se iau egale cu zero.

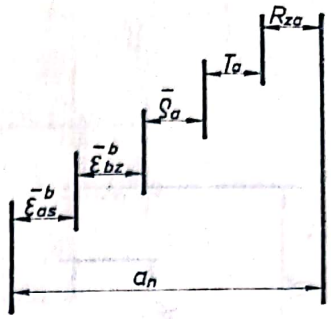


Fig. 4.3.3. Schema lanțului de dimensiuni ale cărui elemente sînt componentele adaosului de prelucrare.

Pentru dispersarea dimensiunilor care se obțin în operația precedentă, dimensiuni îngrădite de toleranța $2\overline{\delta}_a$ și dispersarea dimensiunilor obținute în operația curentă, dimensiuni îngrădite de toleranța $2\overline{\delta}_b$, coeficienții k și α se iau pe baza studiilor făcute asupra operațiilor precedente asemănătoare.

Calculul dimensiunilor intermediare pentru fiecare suprafață elementară a piesei se face, plecînd de la dimensiunea finală a suprafeței respective în ordinea inversă succesiunii operațiilor prevăzute în procesul tehnologic.

Pentru fiecare operație sau fază de prelucrare calculul se face parcurgînd următoarele etape:

— etapa 1 — se determină din normative valorile mărimilor: R_{a_a}; T_a; $\overline{\rho}_a$; $\overline{\varepsilon}^a_{bz}$; $\overline{\varepsilon}^a_{aș}$ și conform legilor lor de dispersare se iau caracteristicile de probabilitate;

— etapa 2 — prin însumarea valorilor fiecărei mărimi de mai sus după relațiile date, se determină valoarea adaosului de prelucrare, care se numește adaos de prelucrare normativ și se notează cu a_n, deoarece valorile mărimilor componente sînt luate din normative.

Schema lanțului de dimensiuni este reprezentată în figura 4.3.3 în care se vede că elementul de închidere al acestui lanț este tocmai adaosul de prelucrare normativ a_n.

Raportul de transmitere pentru toate elementele lanțului de dimensiuni respectiv este $A_i = 1$.

Dimensiunea nominală a adaosului de prelucrare normativ $N_{a_n} = 0$, întrucît s-au luat și dimensiunile nominale ale celorlalte elemente ale lanțului de dimensiuni egale cu zero.

Jumătatea cîmpului de dispersie a mărimii adaosului de prelucrare normativ a_n este:

$$\overline{\delta}_{a_n} = \frac{1}{k_{a_n}}\sqrt{k^2_{R_z}\overline{\delta}^2_{R_z} + k^2_T\overline{\delta}^2_T + k^2_\rho\overline{\delta}^2_\rho + k^2_{\varepsilon_{bz}}\overline{\delta}^2_{\varepsilon_{bz}} + k^2_{\varepsilon_{aș}}\overline{\delta}^2_{aș}}. \qquad (4.3.8)$$

În acest caz s-a admis ipoteza că toate erorile sînt independente, neinfluențîndu-se reciproc. Coordonata mijlocului cîmpului de dispersie a mărimii adaosului de prelucrare normativ a_n este:

$$\Delta_{a_n} = (\Delta_{R_z} + \alpha_{R_z}\overline{\delta}_{R_z}) + (\Delta_T + \alpha_T\overline{\delta}_T) + (\Delta_\rho + \alpha_\rho\overline{\delta}_\rho) + (\Delta_{\varepsilon_{bz}} + \alpha_{\varepsilon_{bz}}\overline{\delta}_{\varepsilon_{bz}}) + (\Delta_{aș} + \alpha_{\varepsilon_{aș}}\overline{\delta}_{\varepsilon_{aș}}) - \alpha_{a_n}\overline{\delta}_{a_n}. \qquad (4.3.9)$$

Abaterile limită, superioară și inferioară a adosului de prelucrare normativ a_n sînt:

$$AS_{a_n} = \Delta_{a_n} + \overline{\delta}_{a_n};\quad AI_{a_n} = \Delta_{a_n} - \overline{\delta}_{a_n}. \qquad (4.3.10)$$

Scanned with OKEN Scanner

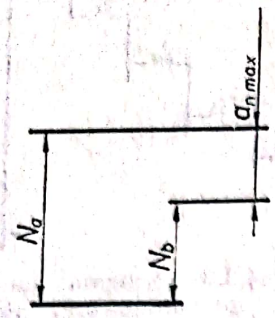


Fig. 4.3.4. Schema lanțului de dimensiuni format din dimensiunile intermediare și adaosul de prelucrare.

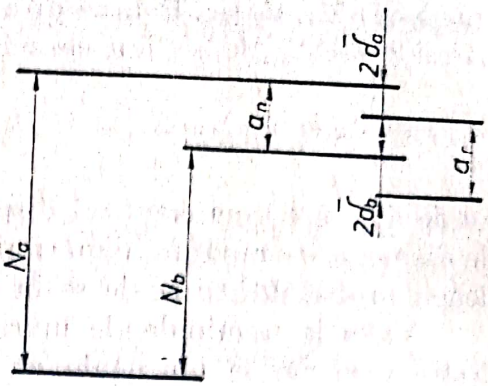


Fig. 4.3.5. Schema lanțului de dimensiuni format din dimensiunile intermediare și toleranțele lor, precum și din adaosul de prelucrare normativ și real.

Întrucît $N_{a_n} = 0$, rezultă că valoarea cea mai mare $a_{n_{max}}$ și cea mai mică $a_{n_{min}}$ a adaosului de prelucrare normativ este:

$$a_{n_{max}} = AS_{a_n} = \Delta_{a_n} + \bar{\delta}_{a_n};\ a_{n_{min}} = AI_{a_n} = \Delta_{a_n} - \bar{\delta}_{a_n}. \qquad (4.3.11)$$

Mărimea adaosului de prelucrare normativ a_n poate avea diferite valori între cele două limite (max și min) pentru diversele piese din lotul de piese, însă pentru a se evita apariția rebutului în calculul dimensiunii intermediare se ia valoarea maximă a adaosului de prelucrare normativ, $a_{n_{max}}$.

Dacă atît semifabricatele cît și piesele s-ar executa exact la dimensiunile nominale impuse, adică dacă dimensiunile nu ar avea dispersie, atunci dimensiunile intermediare ar putea fi deduse ușor din lanțul de dimensiuni reprezentat în figura 4.3.4

$$N_a = N_b + a_{n_{max}} = N_b + \Delta_{a_n} + \delta_{a_n}, \qquad (4.3.12)$$

în care N_a este dimensiunea intermediară a piesei care a fost obținută în operația precedentă; N_b — dimensiunea intermediară a piesei care trebuie obținută în operația curentă.

În realitate însă, toate semifabricatele înainte de prelucrarea lor în operația curentă au dimensiuni diferite unele de altele, dispersate în limitele unui cîmp de toleranțe egal cu $2\delta_a$, iar dimensiunile pieselor prelucrate în operația curentă au o dispersie în limitele unui cîmp de toleranță egal cu $2\delta_b$. Din această cauză mărimea reală a adaosului de prelucrare a_r diferă de mărimea adaosului de prelucrare normativ a_n.

— etapa 3 — se determină mărimea adaosului de prelucrare real a_r și dimensiunea nominală intermediară N_b.

Cîmpurile de toleranță care îngrădesc dimensiunile nominale intermediare se dispun în minus față de dimensiunea respectivă pentru suprafețele exterioare, atît pentru fazele sau operațiile precedente, cît și pentru cele curente. Schema lanțului de dimensiuni intermediar (operațional) pentru acest caz este expusă în figura 4.3.5. Din schema respectivă se vede că prin cotarea toleranțelor „în metal" (în minus) toleranța dimensiunii semifabricatului $2\delta_a$ micșorează adaosul de prelucrare normativ a_n, iar toleranța dimensiunii care se obține în operația curentă $2\delta_b$ mărește adaosul de prelucrare normativ.

Pentru a se vedea mai bine legăturile reciproce dintre elementele lanțului de dimensiuni schema reprezentată în figura 4.3.5 se poate divide în

Scanned with OKEN Scanner

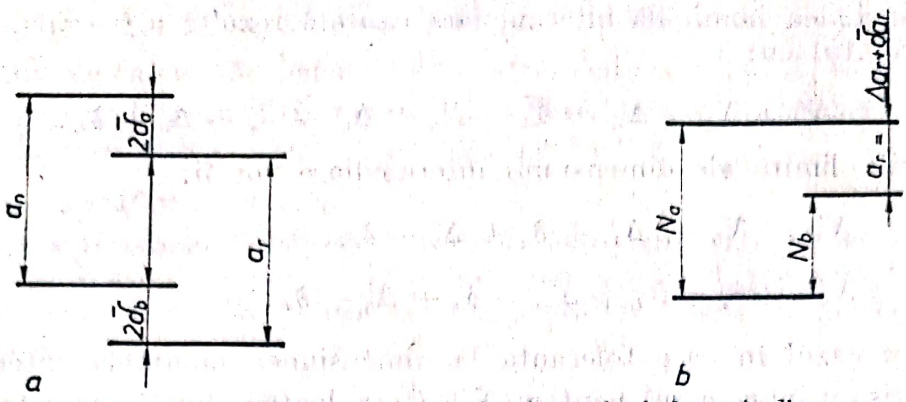


Fig. 4.3.6. Schema lanțului de dimensiuni format din:
a — adaosurile de prelucrare normativ și real și toleranțele dimensiunilor intermediare și *b* — adaosul de prelucrare real.

două lanțuri de dimensiuni și anume: un lanț de dimensiuni pentru adaosul de prelucrare real a_r (fig. 4.3.6, *a*) și un lanț de dimensiuni din care să rezulte legătura reciprocă între dimensiunile nominale intermediare (fig. 4.3.6, *b*).

Din schema lanțului de dimensiuni din figura 4.3.6 se poate obține: δ_{a_r} — jumătatea cîmpului de dispersie a dimensiunilor adaosului de prelucrare real, a_r și Δ_{a_r} — coordonata jumătății cîmpului de dispersie a dimensiunilor adaosului de prelucrare real a_r. Astfel:

$$\bar{\delta}_{a_r} = \frac{1}{K_{a_r}} \sqrt{k_{a_n}^2 \bar{\delta}_{a_n}^2 + k_a^2 \bar{\delta}_a^2 + k_b^2 \bar{\delta}_b^2}\,; \qquad (4.3.13)$$

$$\Delta_{a_r} = (\Delta_{a_n} + \alpha_{a_n}\delta_{a_n}) - (\Delta_a + \alpha_a \bar{\delta}_a) + (\Delta_b + \alpha_b \bar{\delta}_b) - \alpha_{a_r}\delta_{a_r}. \qquad (4.3.14)$$

Din lanțul de dimensiuni reprezentat în figura 4.3.6, *b* se poate determina valoarea dimensiunii nominale intermediare:

$$N_a = N_b + a_r = N_b + \Delta_{a_r} + \bar{\delta}_{a_r}. \qquad (4.3.15)$$

Dimensiunea nominală intermediară N_a se rotunjește pînă la aceeași fracție zecimală cu care este dată toleranța la această dimensiune $2\delta_a$ și se scrie valoarea definitivă a dimensiunii intermediare, însă cu aceleași limite de abatere cu care au fost luate la calculul lui a_r, adică N_a.

Toate relațiile obținute (4.3.13), (4.3.14), (4.3.15) sînt juste nu numai pentru prescrierea toleranțelor la dimensiunile intermediare în minus (în metal cum s-a procedat la deducerea lor), ci și pentru prescrierea toleranțelor oricăror dimensiuni intermediare.

Acest lucru nu este greu de demonstrat dacă se determină valorile limită ale dimensiunii intermediare pentru diferite cazuri de prescriere a cîmpului de toleranță față de dimensiunea sa nominală.

Pentru simplificarea calculelor se admite că:

$$\alpha_a = 0;\ \alpha_b = 0;\ \alpha_{a_n} = 0;\ \alpha_{a_r} = 0.$$

În acest caz pentru $(N'_a)_{-2\bar{\delta}_a}$, valoarea lui $\bar{\delta}_{a_r}$ se determină după relația (4.3.13) iar valoarea lui Δ'_a va fi egală cu:

$$\Delta'_a = 0{,}5(AS_a + AI_a) = 0{,}5[0 + (-2\bar{\delta}_a)] = -\bar{\delta}_a.$$

Deci Δ'_{a_r} după relația (4.3.14) este egal cu:

$$\Delta'_{a_r} = \Delta_{a_n} - \Delta'_a + \Delta_b = \Delta_{a_n} - (-\bar{\delta}_a) + \Delta_b = \Delta_{a_n} + \bar{\delta}_a + \Delta_b.$$

Scanned with OKEN Scanner

Dimensiunea nominală intermediară căutată rezultă a fi egală, conform relației (4.3.15) cu:

$$N'_a = N_b + \Delta'_{a_r} + \overline{\delta}'_{a_r} = N_b + \Delta_{a_n} + \overline{\delta}_a + \Delta_b + \overline{\delta}_{a_r}.$$

Valorile limită ale dimensiunii intermediare vor fi:

$$\begin{aligned} N'_{a_{max}} &= N'_a = N_b + \Delta_{a_n} + \overline{\delta}_a + \Delta_b + \overline{\delta}_{a_r}; \\ N'_{a_{min}} &= N'_a - 2\overline{\delta}_a = N_b + \Delta_{a_n} - \overline{\delta}_a + \Delta_b + \delta_{a_r}. \end{aligned} \tag{4.3.16}$$

Pentru cazul în care toleranța la dimensiunea nominală intermediară este prescrisă în plus, adică pentru $(N''_a)^{+2\overline{\delta}_a}$ valoarea lui $\overline{\delta}_{a_r}$ se determină la fel după relația (4.3.13), iar valoarea lui Δ''_a va fi:

$$\Delta''_a = 0{,}5(AS_a + AI_a) = 0{,}5(2\overline{\delta}_a + 0) = \overline{\delta}_a.$$

Δ''_{a_r} se calculează după relația (4.3.14) și va fi:

$$\Delta''_{a_r} = \Delta_{a_n} - \Delta''_a + \Delta_b = \Delta_{a_n} - \overline{\delta}_a + \Delta_b.$$

Dimensiunea nominală intermediară în acest caz este $N''_a = N_b + \Delta''_{a_r} + \overline{\delta}_{a_r} = N_b + \Delta_{a_n} - \overline{\delta}_a + \Delta_b + \overline{\delta}_{a_r}$, iar valorile limită ale acesteia vor fi:

$$\begin{aligned} N''_{a_{max}} &= N''_a + 2\overline{\delta}_a = N_b + \Delta_{a_n} + \overline{\delta}_a + \Delta_b + \overline{\delta}_{a_r}; \\ N''_{a_{min}} &= N''_a = N_b + \Delta_{a_n} - \delta_a + \Delta_b + \alpha_{a_r}. \end{aligned} \tag{4.3.17}$$

După cum se vede s-au obținut aceleași relații (4.3.16) ca și în cazul cînd cîmpul de toleranță $2\overline{\delta}_a$ a fost dispus în minus $(N'_a)_{-2\overline{\delta}a}$.

Pentru cazul cînd cîmpul de toleranță este dispus simetric față de dimensiunea nominală intermediară, adică $\left(N'''_a\right)^{+\overline{\delta}_a}_{-\overline{\delta}_a}$, δ_{a_r} se calculează după (4.3.13), iar valoarea lui Δ'''_a va fi:

$$\Delta'''_a = 0{,}5(AS_a + AI_a) = 0{,}5[\overline{\delta}_a + (-\overline{\delta}_a)] = 0;$$

$$\Delta'''_{a_r} = \Delta_{a_n} - \Delta'''_a + \Delta_b = \Delta_{a_n} + \Delta_b.$$

Dimensiunea nominală intermediară conform relației (4.3.15) ca și în cazurile precedente este:

$$N'''_a = N_b + \Delta'''_{a_r} + \overline{\delta}_{a_r} = N_b + \Delta_{a_n} + \Delta_b + \overline{\delta}_{a_r},$$

iar valorile limită ale acesteia vor fi:

$$\begin{aligned} N'''_{a_{max}} &= N'''_a + \overline{\delta}_a = N_b + \Delta_{a_n} + \Delta_b + \overline{\delta}_{a_r} + \overline{\delta}_a; \\ N'''_{a_{min}} &= N'''_a - \overline{\delta}_a = N_b + \Delta_{a_n} + \Delta_b + \overline{\delta}_{a_r} - \overline{\delta}_a. \end{aligned} \tag{4.3.18}$$

După cum se vede și în acest caz, s-au obținut aceleași relații ca și atunci, cînd cîmpul de toleranță a fost dispus asimetric (în plus sau minus) față de dimensiunea nominală intermediară. Deci, valorile limită maxime și minime ale dimensiunii nominale intermediare pentru orice fel de dispunere a cîmpului de toleranță față de dimensiunea nominală se obțin aceleași, adică:

$$N'_{a_{max}} = N''_{a_{max}} = N'''_{a_{max}};$$

Scanned with OKEN Scanner

$$N'_{a_{min}} = N''_{a_{min}} = N'''_{a_{min}}.$$

Relaţiile de calcul ale dimensiunilor intermediare $N_a = N_b + a_r = N_b + \Delta_{a_r} + \overline{\delta}_{a_r}$ în cazul prelucrării suprafeţelor exterioare şi interioare cu adaosul de prelucrare dispus *simetric* au următoarea formă:

Pentru suprafeţe exterioare

a — Caracteristicile adaosului de prelucrare normativ a_n se determină după aceleaşi relaţii ca şi pentru cazul cînd acesta este dispus *asimetric*, deoarece datele normative din tabele sînt date pentru adaos de prelucrare asimetric. Astfel:

$$k_{ar}\overline{\delta}_{a_n} = \sqrt{k^2_{R_z}\overline{\delta}^2_{R_z} + k^2_T\overline{\delta}^2_T + k^2_\rho\overline{\delta}^2_\delta + k^2_{\varepsilon_{bz}}\delta^2_{\varepsilon_{bz}} + k^2_{\varepsilon_{aş}}\delta^2_{\varepsilon_{aş}}}; \quad (4.3.19)$$

$$(\Delta_{a_n} + \alpha_{a_n}\overline{\delta}_{a_n}) = \Delta_{R_z} + \alpha_{R_z}\overline{\delta}_{R_z}) + (\Delta_T + \alpha_T\overline{\delta}_T) + (\Delta_\rho + \alpha_\rho\delta_\rho) +$$

$$+ (\Delta_{\varepsilon_{bz}} + \alpha_{\varepsilon_{bz}}\overline{\delta}_{\varepsilon_{bz}}) + (\Delta_{\varepsilon_{aş}} + \alpha_{\varepsilon_{aş}}\overline{\delta}_{\varepsilon_{aş}}) \quad (4.3.20)$$

b — În relaţiile pentru determinarea adaosului de prelucrare real a_r, caracteristicile adaosului de prelucrare normativ a_n se dublează (pentru că aşa cum s-a arătat mai sus, datele normative din tabele sînt date pentru adaos de prelucrare asimetric).

Astfel:

$$\delta_{a_r} = \frac{1}{K_{a_r}}\sqrt{(2k_{a_n}\overline{\delta}_{a_n})^2 + k^2_a\overline{\delta}^2_a + k^2_b\overline{\delta}^2_b} \quad (4.3.21)$$

$$\Delta_{a_r} = 2(\Delta_{a_n} + \alpha_{a_n}\overline{\delta}_{a_n}) - (\Delta_a + \alpha_a\overline{\delta}_a) + (\Delta_b + \alpha_b\overline{\delta}_b) - \alpha_{a_r}\delta_{a_r}. \quad (4.3.22)$$

c — Avînd valorile caracteristicilor adaosului de prelucrare, valoarea nominală a dimensiunii intermediare se determină după relaţia (4.3.16):

$$N_a = N_b + a_r = N_b + \Delta_{a_r} + \overline{\delta}_{a_r}.$$

Dimensiunea intermediară se scrie cu aceleaşi abateri limită care au fost luate în calculul lui a_r, adică $(N_a)_{-2\overline{\delta}_a}$.

Pentru suprafeţe interioare, după schema lanţului de dimensiuni reprezentate în figura 4.3.7 toleranţele $2\overline{\delta}_a$ şi $2\overline{\delta}_b$ se dispun în minus faţă de dimensiunile nominale, la fel ca şi în cazul suprafeţelor exterioare.

a — Caracteristicile adaosului de prelucrare normativ se determină pentru cazul adaosului de prelucrare asimetric după relaţiile (4.3.19) şi (4.3.20) deoarece şi în acest caz datele normative din tabele sînt date pentru adaos de prelucrare asimetric.

b — În relaţiile de calcul ale adaosului de prelucrare real a_r se dublează caracteristicile adaosului de prelucrare normativ. Astfel,

$$\overline{\delta}_{a_r} = \frac{1}{k_{a_r}}\sqrt{(2k_{a_n}\delta_{a_n})^2 + k^2_a\overline{\delta}^2_a + k^2_b\overline{\delta}^2_b} \quad (4.3.23)$$

$$\Delta_{a_r} = 2(\Delta_{a_n} + \alpha_{a_n}\delta_{a_n}) + (\Delta_a + \alpha_a\overline{\delta}_a) -$$

$$-(\Delta_b + \alpha_b\overline{\delta}_b) - \alpha_{a_r}\overline{\delta}_{a_r}. \quad (4.3.24)$$

c — Valoarea nominală a dimensiunii intermediare se determină după relaţia:

$$N_a = N_b - a_r = N_b - \Delta_{a_r} - \delta_{a_r}. \quad (4.3.25)$$

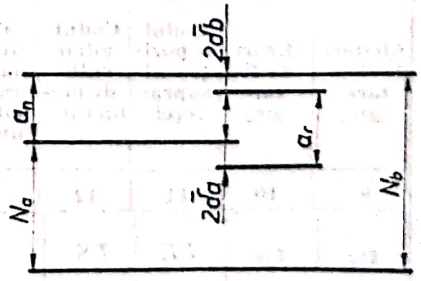


Fig. 4.3.7. Schema lanţului de dimensiuni pentru suprafeţe interioare.

Scanned with OKEN Scanner

Dimensiunea intermediară se scrie la fel ca și în cazurile precedente, cu aceleași abateri limită care au fost luate în calculul lui a_r. Valoarea dimensiunii nominale se rotunjește pînă la aceeași fracție zecimală cu care este dată toleranța la dimensiune sau pînă la dimensiunea standardizată cea mai apropiată a sculei cu care se face măsurarea N_a.

După cum se vede din relațiile (4.3.15) și (4.3.25) pentru calculul dimensiunii intermediare se folosesc aceleași relații cu deosebirea că în relația referitoare la suprafețele interioare sînt schimbate semnele lui Δ_{a_r} și δ_{a_r}.

Relațiile de calcul obținute pentru calculul adaosurilor de prelucrare și a dimensiunilor intermediare sînt valabile pentru orice fel de dispunere a cîmpurilor de toleranță față de dimensiunile nominale.

Metoda prezentată pentru calculul adaosurilor de prelucrare și a dimensiunilor intermediare de prelucrare mecanică prin așchiere poate fi folosită de uzinele constructoare de mașini cu producție de masă și de serie mare, precum și în producția de serie mică, pentru întocmirea tabelelor cu adaosuri de prelucrare.

Algoritmul de calcul prezentat a fost programat pe calculator și testat pe un număr mare de operații și faze de prelucrare a unor piese. Schema logică a algoritmului este dată în figura 4.3.8. Valorile mărimilor care intervin în relațiile de calcul ale algoritmului, pentru fiecare procedeu de prelucrare, pot fi centralizate în tabelul 4.3.1. Acesta constituie și datele cu privire la adaosurile de prelucrare și la dimensiunile intermediare ce vor fi introduse în fișierul tehnologic al programului general.

Tabelul 4.3.1

Valori ale mărimilor necesare calculului adaosului de prelucrare și al dimensiunilor intermediare

Numărul procedeului	Codul suprafeței	Dimensiunea nominal finală [mm]	Toleranța dimensională impusă [μm]	Rugozitatea impusă [μm]		Grosimea stratului deteriorat [μm]	Abateri spațiale [μm]
				max	min		
1	2	3	4	5	6	7	8
Notații		N_{bf}	T_0	R_{OM}	R_{om}	S_d	ρ_a

Abateri de bazare [μm]	Erori de fixare [μm]	Codul de poziție al suprafeței	Codul adaosului de prelucrare	Toleranța dimensională a suprafeței semifabricatului brut [μm]	Rugozitatea R_a a suprafeței semifabricatului brut		Grosimea stratului deteriorat a suprafeței brute [μm]	Abateri spațiale ale suprafețelor brute [μm]	Codul de formă a suprafeței
					max	min			
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ε_{bz}	ε_{os}	LE	LS	T_{os}	R_{OSM}	R_{osm}	S_{ds}	ρ_{as}	LFS

Scanned with OKEN Scanner

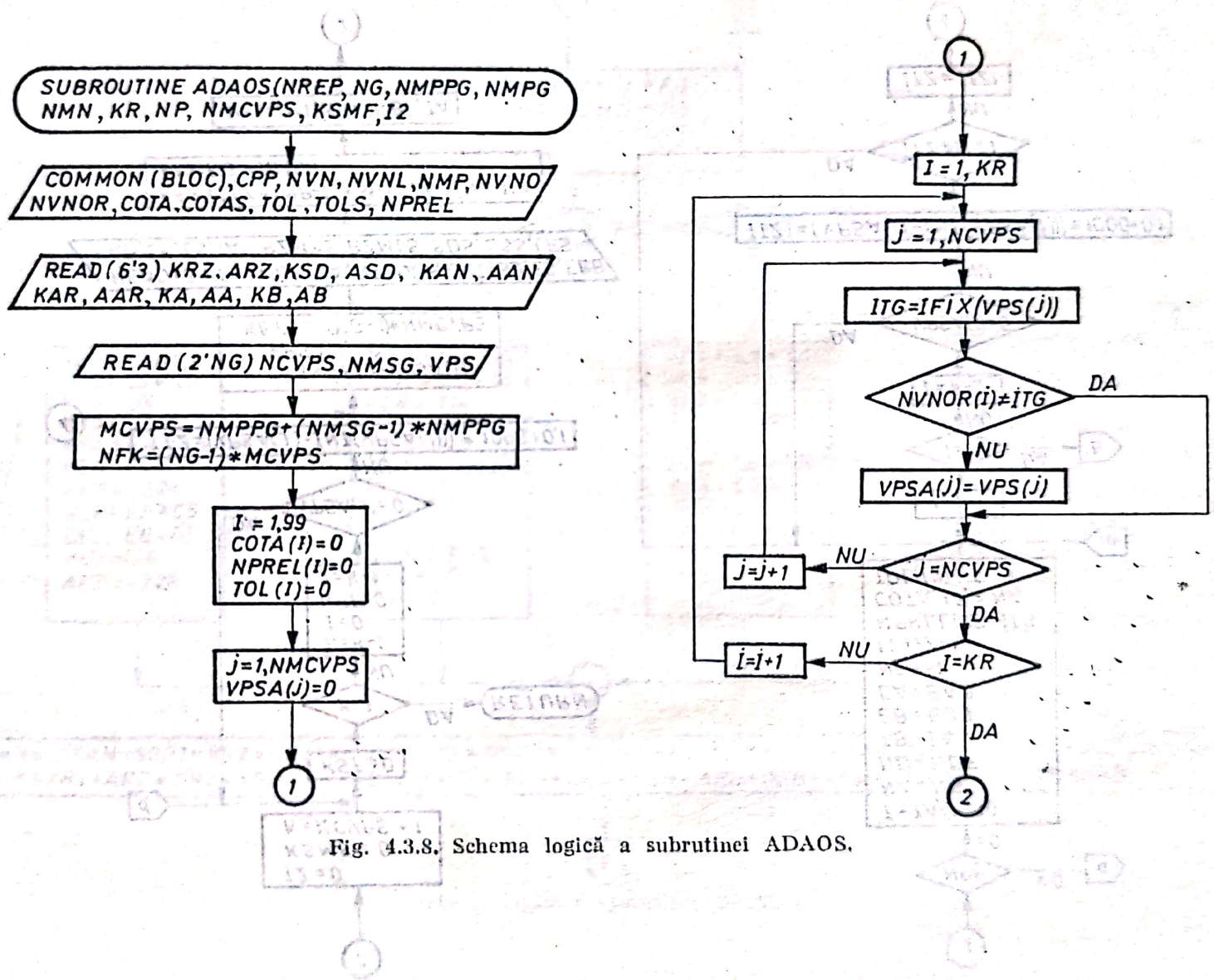
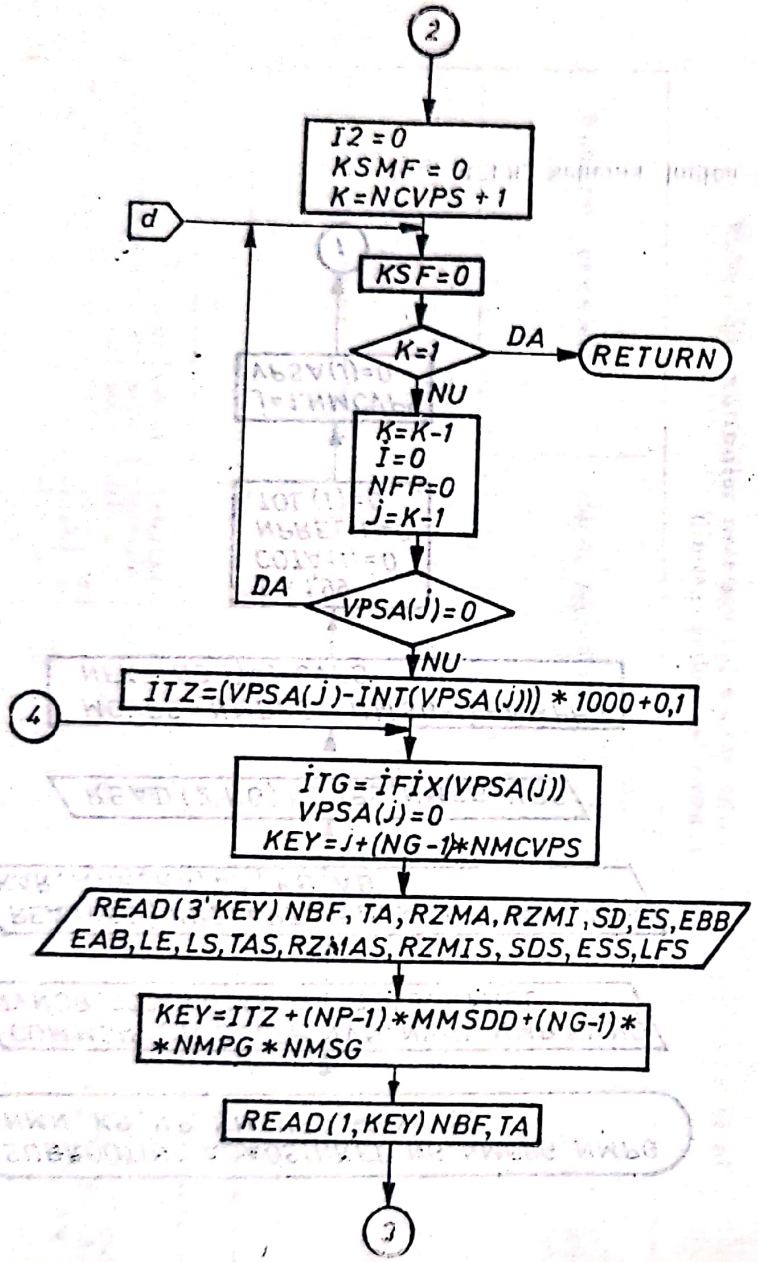
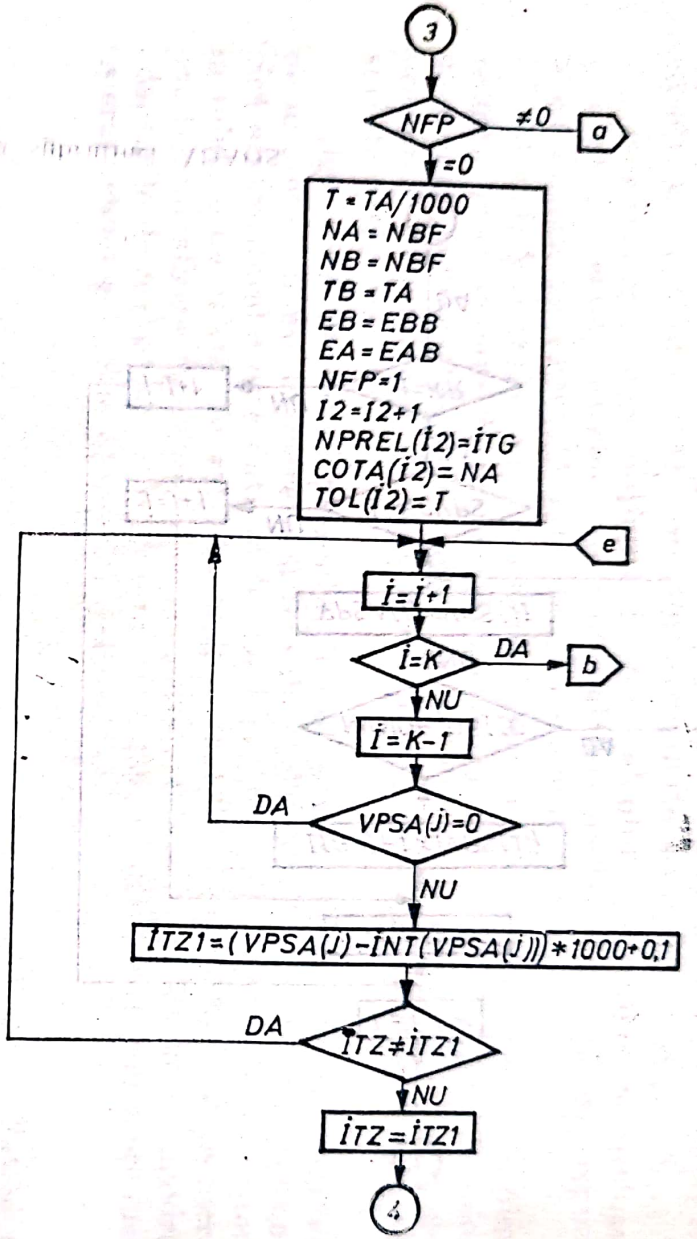


Fig. 4.3.8. Schema logică a subrutinei ADAOS.

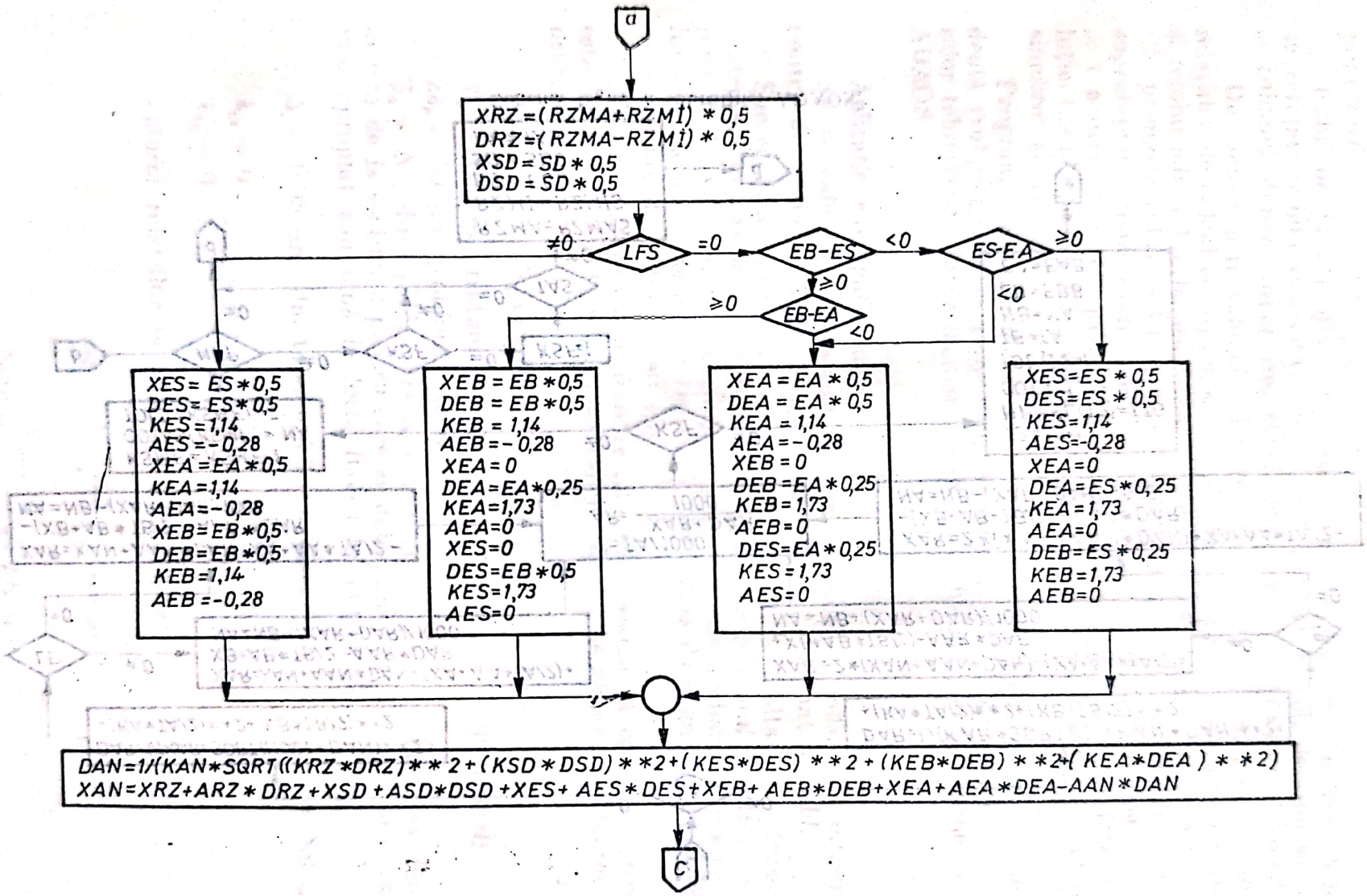


Schema logică a subrutinei ADAOS.

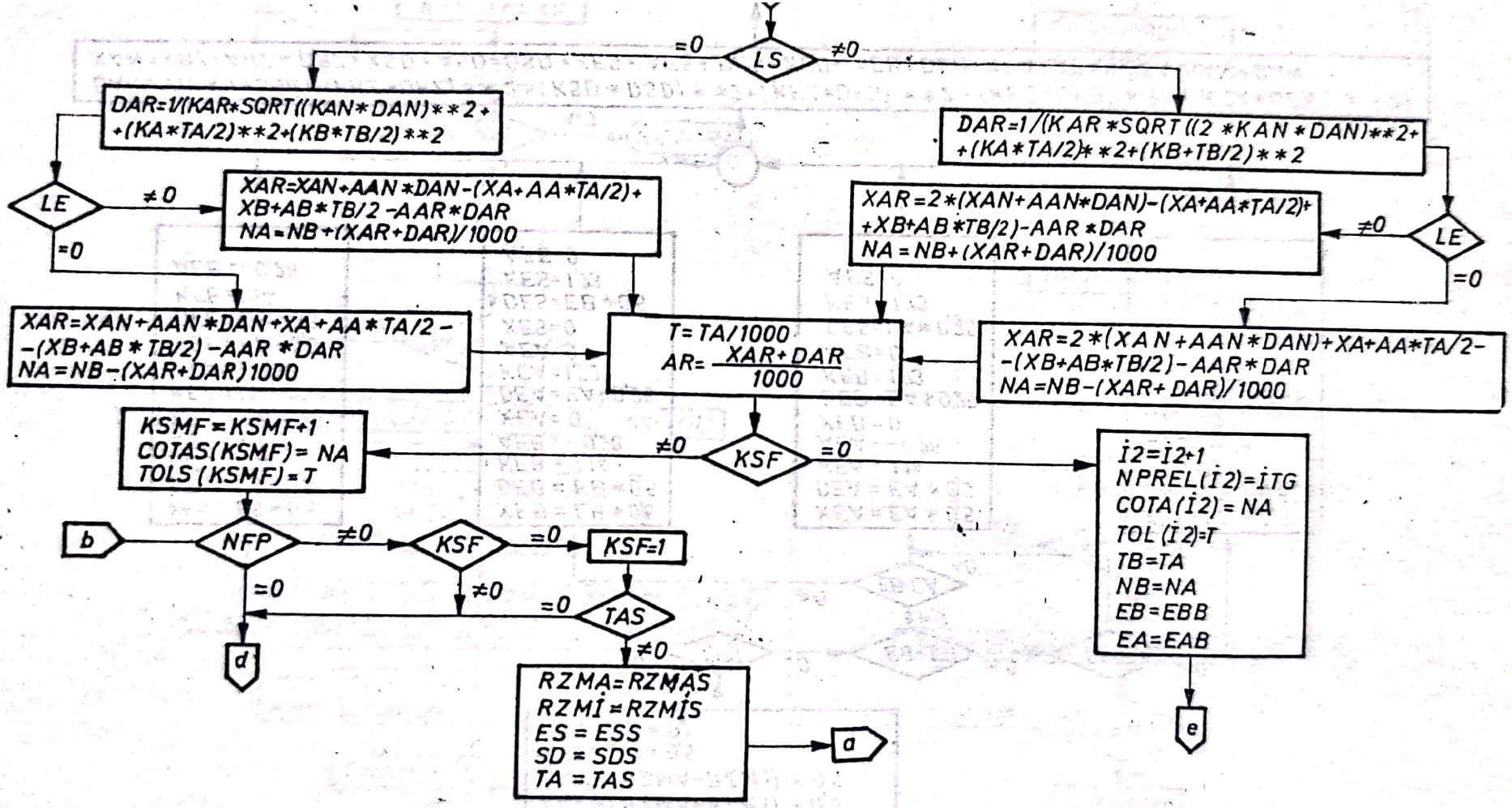


Schema logică a subrutinei ADAOS.

Scanned with OKEN Scanner



Schema logică a subrutinei ADAOS.



Schema logică a subrutinei ADAOS.

Nu sînt cuprinși în tabel coeficienții dispersiei relative și coeficientul asimetriei relative, aceștia avînd aceeași valoare pentru toate procedeele de prelucrare.

Rubricile 11÷15 din tabel cuprind valori ale unor mărimi legate de suprafețele semifabricatului brut și care intervin în calcule cînd se impune și calculul dimensiunilor semifabricatului brut cu ajutorul calculatorului.

De asemenea în tabelul 4.3.1 sînt trecute trei coduri necesare utilizării relațiilor de calcul corespunzătoare formei și poziției suprafeței de prelucrat și felului adaosului de prelucrare. Astfel codul *de poziție* al suprafeței, notat LE, primește valoarea LE = 1 pentru suprafețe exterioare și LE = 0 pentru suprafețe interioare. Codul *de formă* a suprafeței LFS va primi valoarea LFS = = 1 pentru suprafețe plane și valoarea LFS = 0 pentru suprafețe de revoluție. Codul *adaosului de prelucrare* LS va avea valoarea LS = 1 pentru adaos simetric și valoarea LS = 0 pentru adaos asimetric.

Programul de calculator al algoritmului lucrează ca unitate independentă (subprogram) în programul general al proiectării automate a proceselor tehnologice de prelucrare a piesei, sub forma unei subrutine denumită ADAOS.

Aplicație exemplificatorie

Să se calculeze adaosurile de prelucrare și dimensiunile intermediare pentru dimensiunea de $\varnothing\ 45_{0,017}$ — semifabricat laminat la cald.

Succesiunea operațiilor este următoarea: — debitarea; — frezarea și centruirea capetelor; — strunjirea de degroșare (cu multicuțite); — strunjirea de finisare (cu multicuțite); — controlul intermediar; — frezarea canalului de pană; — tratament termic; — rectificare de degroșare $\varnothing\ 45{,}06_{0,050}$; — rectificare de finisare $\varnothing 45_{0,017}$.

Pentru rectificarea de finisare (și ținînd seama că operația precedentă este rectificarea de degroșare) din tabelul 4.3.1, *a* se găsesc următoarele valor pentru:

$$H_a = 10\ \mu m = R_{z_{min}};\ R_{z_{max}} = 25\ \mu m;$$

$T_a = 0$ (după tratamentul termic T_a se exclude din calcul);

$2\delta_a = 50\ \mu m$ (conform clasei 4 de precizie);

$\overline{\rho}_a = \Delta_c l_c$ după [55], unde Δ_c este curbura specifică, iar l_c este distanța în mm de la secțiunea pentru care se determină curbura pînă la capătul cel mai apropiat sau pînă la locul fixării în universal;

$\Delta_c = 0{,}05\ \mu m$, din tabelul 4.3.1, *b*; deci $\overline{\rho}_a = 0{,}05 \cdot 118 = 5{,}9\ \mu m$;

$\overline{\varepsilon}_{bz} = 0$
$\overline{\varepsilon}_{a_\xi} = 0$ — la rectificarea între vîrfuri;

Conform relațiilor (4.3.6), și (4.3.7) rezultă:

$$\Delta_{R_z} = \frac{10 + 25}{2} = 17{,}5\ \mu m;$$

$$\delta_{R_z} = \frac{25 - 10}{2} = 7{,}5\ \mu m.$$

Scanned with OKEN Scanner

Din cele arătate în partea teoretică a problemei rezultă:

$$\Delta\overline{\rho}_a = \delta\overline{\rho}_a = 0{,}5\overline{\rho}_a = 0{,}5 \cdot 5{,}9 = 2{,}95 \ \mu m;$$

$$\Delta T_a = \delta_{T_a} = 0{,}5 T_a = 0.$$

Știind că: $K_{a_n} = 1$; $K_{R_z} = 1{,}73$; $K_{T_a} = 1{,}14$; $K_{\overline{\rho}_a} = 1{,}14$: $K_{\overline{\varepsilon}} = 1{,}73$, conform relației (4.3.8) se obține:

$$\delta_{a_n} = \sqrt{1{,}73^2 \cdot 7{,}5^2 + 1{,}14^2 \cdot 2{,}95^2} = 13{,}4 \ \mu m.$$

De asemenea, știind că: $\alpha_{a_n} = \alpha_{R_z} = \alpha_{\overline{\varepsilon}} = 0$; $\alpha_{T_a} = -0{,}28$; $\alpha_{\overline{\rho}_a} = -0{,}28$, conform relației (4.3.9), coordonata mijlocului cîmpului de dispersie va fi egală cu:

$$\Delta_{a_n} = (17{,}5 + 0{,}75) + (0 - 0{,}28 \cdot 0) + (2{,}95 - 0{,}28 \cdot 2{,}95) = 19{,}63 \mu m.$$

Avînd pe Δ_{a_n} și δ_{a_n} și cunoscînd: $K_b = 1$; $\alpha_b = 0$; $K_a = 1$; $\alpha_a = 0$; $K_{a_n} = 1$; $\alpha_{a_n} = 0$, conform relațiilor (4.3.21) și (4.3.22), se obține:

$$\delta_{a_r} = \sqrt{(2 \cdot 1 \cdot 13{,}4)^2 + 1^2 \cdot 25^2 + 1^2 \cdot 8{,}5^2} = 38 \ \mu m.$$

$$\Delta_{a_r} = 2(19{,}63 + 0 \cdot 13{,}14) - (25 + 0{,}25) + (8{,}5 + 0 \cdot 8{,}5) = 22{,}76 \mu m,$$

unde:

$$\Delta_b = \overline{\delta}_b = 0{,}5 \cdot 2\delta_b = 0{,}5 \cdot 17 = 8{,}5 \ \mu m;$$

$$\Delta_a = \overline{\delta}_a = 0{,}5 \cdot 2\delta_a = 0{,}5 \cdot 50 = 25 \ \mu m.$$

Conform relațiilor (4.3.21) și (4.3.22), adaosul de prelucrare va fi: $a_{r_{max}} = 22{,}76 + 38 = 60{,}76$ μm, iar conform relației (4.3.16) dimensiunea intermediară va fi:

$$N_a = 45 + 0{,}061 = 45{,}061 \text{ mm} = N_{a_{max}}.$$

Ca urmare pe schița operației de rectificare de degroșare se va trece cota intermediară $\varnothing$ 45,06—0,05.

Pentru rectificarea de degroșare (operația precedentă este strunjirea de finisare) din tabelul 4.3.1, *a* se găsesc:

$$H_a = 25 \ \mu m = R_{z_{min}}; \quad R_{z_{max}} = 50 \ \mu m;$$

$$T = 0;$$

$$2\delta_a = 170 \ \mu m \text{ (conform clasei a 6-a de precizie)};$$

$$\Delta_c = 0{,}8 \ \mu m \text{ (tab. 4.3.1, } b);$$

$$\overline{\rho}_a = 0{,}8 \cdot 118 = 94 \ \mu m;$$

$$\overline{\varepsilon}_{b_z} = \overline{\varepsilon}_{a_z} = 0.$$

Aplicîndu-se aceleași relații se găsesc:

$$\Delta_{R_z} = \frac{25 + 50}{2} = 37{,}5 \ \mu m;$$

$$\overline{\delta}_{R_z} = \frac{50 - 25}{2} = 12{,}5 \ \mu m;$$

Scanned with OKEN Scanner

$$\Delta\overline{\rho}_a = \delta\overline{\rho}_a = 47 \ \mu m.$$

Deci:

$$\overline{\delta}_{a_n} = \sqrt{1{,}73^2 \cdot 12{,}5^2 + 1{,}14^2 \cdot 47^2} = 57 \ \mu m;$$

$$\Delta_{a_n} = 37{,}5 + (47 - 0{,}28 \cdot 47) = 71{,}34 \ \mu m;$$

$$\overline{\delta}_{a_r} = \sqrt{(2{,}57)^2 + 85^2 + 25^2} = 140 \ \mu m;$$

unde:

$$\Delta_b = \overline{\delta}_b = 0{,}5 \cdot 2 \ \delta_b = 0{,}5 \cdot 50 = 25 \ \mu m;$$

$$\Delta_a = \overline{\delta}_a = 0{,}2 \cdot 2\delta_a = 0{,}5 \cdot 170 = 85 \ \mu m;$$

$$\Delta_{a_r} = 2 \cdot 71{,}34 - 85 + 25 = 82{,}68 \ \mu m.$$

Deci, adaosul de prelucrare la strunjirea de finisare, pentru operația de rectificare de degroșare va fi:

$$a_{r_{max}} = 82{,}68 + 140 = 222{,}68 \ \mu m,$$

iar dimensiunea intermediară va fi:

$$N_a = 45{,}06 + 0{,}223 = 45{,}283 \ mm.$$

În consecință, pe schița operației de strunjire de finisare se va trece dimensiunea $\varnothing \ 45{,}3_{-0{,}170}$ mm.

Pentru strunjirea de finisare (operația precedentă este strunjirea de degroșare), din tabelul 4.3.1, *a* se găsesc:

$$H_a = 50 \ \mu m = R_{z_{min}}; \ R_{z_{max}} = 150 \ \mu m;$$

$$T_a = 50 \ \mu m;$$

$2\delta_a = 340 \ \mu m$ (conform clasei a 7-a de precizie);

$$\overline{\rho}_a = 0{,}96 \cdot \varepsilon_{centr} + 0{,}4 \ \Delta_c l_c = 0{,}96 \cdot 20 + 0{,}4 \cdot 1{,}0 = 1{,}118 \cong 30 \ \mu m.$$

Tabelul 4.3.1, a

Prelucrarea mecanică a oțelului la cald. Suprafețele cilindrice exterioare				
Metoda de prelucrare	Clasa de precizie după STAS	Clasa de netezime după GOST	H μm	T μm
Strunjire de degroșare	7	3	50	50
Strunjire de finisare	6	5	25	25
Rectificare: — de degroșare — de finisare — de netezire	 4 3—2 2—1	 6 7— 8 8—10	 10 5 1—0,5	 20 15 —

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.3.1, b

Curbura specifică a laminatelor în diferite stadii de prelucrare Δ_c, μm,					
Stadiul prelucrării	Diametrul laminatelor în mm				
	—30	30—50	50—80	80—120	120—180
După strunjirea de degroșare a laminatelor îndreptate	0,15	0,1	0,1	0,05	0,05
După strunjirea de semifinisare	0,01	0,007	0,007	0,004	0,003
După tratamentul termic și îndreptare	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
După călire prin CIF	0,5	0,4	0,4	0,4	
După rectificarea de degroșare a pieselor călite și îndreptate	0,06	0,05	0,05	0,05	
După rectificarea de degroșare a pieselor călite prin CIF	0,03	0,03	0,03	0,03	

Relația de mai sus este luată din [81], unde:

$$\varepsilon_{centr} = 20 \ \mu m \ \text{(tab. 4.3.1, } c\text{)};$$

$$\varepsilon_{bz} = \varepsilon_{a_\xi} = 0 \ \text{(la prelucrarea între vîrfuri)};$$

$$\Delta_{R_z} = \frac{50 + 150}{2} = 100 \ \mu m; \qquad \overline{\delta}_{R_z} = \frac{150 - 50}{2} = 0 \ \mu m;$$

$$\Delta\overline{\rho}_a = \delta\overline{\rho}_a = 0{,}5 \ \overline{\rho}_a = 15 \ \mu m;$$

$$\Delta_{T_a} = \overline{\delta}_{T_a} = 0{,}5 \ T_a = 25 \ \mu m;$$

$$\delta_{a_n} = \sqrt{1{,}73^2 \cdot 50^2 + 1{,}14^2 \cdot 25^2 + 1{,}14^2 \cdot 15^2} = 92 \ \mu m;$$

$$\Delta_{a_n} = 100 + (25 - 0{,}28 \cdot 25) + (15 - 0{,}28 \cdot 15) \cong 129 \ \mu m;$$

$$\Delta_b = \overline{\delta}_b = 0{,}5 \cdot 2 \ \delta_b = 0{,}5 \cdot 170 = 85 \ \mu m;$$

$$\Delta_a = \overline{\delta}_a = 0{,}5 \cdot 2\delta_a = 0{,}5 \cdot 340 = 170 \ \mu m;$$

$$\delta_{a_r} = 2 \cdot 129 - 170 + 85 = 173 \ \mu m.$$

Deci, adaosul de prelucrare va fi:

$$a_{r_{max}} = 173 + 265 = 438 \ \mu m;$$

iar dimensiunea intermediară:

$$N_a = 45{,}3 + 0{,}438 = 45{,}738 \ mm.$$

Scanned with OKEN Scanner

Pe schița operației de strunjire de degroșare se va trece diametrul de $45{,}7_{-0{,}34}$ mm.

Pentru strunjirea de degroșare (operația precedentă este laminarea), din tabelul 4.3.1, *a* se găsesc:

$$H_a = 150\ \mu m = R_{z_{min}};\ R_{z_{max}} = 400\ \mu m;$$

$$T_a = 150\ \mu m;$$

$$2\,\delta_a = 1300 \text{ (tab. 4.3.1, } c);$$

$$\overline{\rho}_a = 0{,}96 \cdot \varepsilon_{centr} + 0{,}4\Delta_c l_c = 0{,}96 \cdot 325 + 0{,}4 \cdot 1{,}5 \cdot 118 = 383\ \mu m;$$

$$\overline{\varepsilon}_{centr} = 325\ \mu m;$$

$$\Delta_c = 1{,}5\ \mu m;$$

$$\Delta_{R_z} = \frac{400 + 150}{2} = 275\ \mu m;\ \overline{\delta}_{R_z} = \frac{400 - 150}{2} = 125\ \mu m;$$

$$\Delta\overline{\rho}_a = \overline{\delta}_{\rho a} = 0{,}5 \cdot 383 = 191{,}5\ \mu m;$$

$$\Delta_{T_a} = \overline{\delta}_{T_a} = 0{,}5 \cdot 150 = 75\ \mu m;$$

$$\overline{\delta}_{a_n} = \sqrt{1{,}73^2 \cdot 125^2 + 1{,}14^2 \cdot 75^2 + 1{,}14^2 \cdot 191{,}5^2} = 360\ \mu m;$$

$$\Delta_{a_n} = 275 + (75 - 0{,}28 \cdot 75) + (191{,}5 - 0{,}28 \cdot 191{,}5) = 467\ \mu m;$$

$$\Delta_b = \overline{\delta}_b = 0{,}5 \cdot 2\ \delta_b = 0{,}5 \cdot 340 = 170\ \mu m;$$

Întrucît $2\,\delta_a = A_s - A_i = 600 - (-700) = 1300$, rezultă că:

$$\Delta_a = \frac{A_s + A_i}{2} = \frac{600 - 700}{2} = -50\ \mu m;$$

$$\overline{\delta}_a = \frac{A_s - A_i}{2} = \frac{600 - (-700)}{2} = 650\ \mu m;$$

$$\overline{\delta}_{a_r} = \sqrt{(2 \cdot 360)^2 + (650)^2 + (170)^2} = 990\ \mu m;$$

$$\Delta_{a_r} = 2 \cdot 467 - (-50) + 170 = 1154\ \mu m.$$

Deci, adaosul de prelucrare este:

$$a_{r_{max}} = 1154 + 990 = 2144\ \mu m,$$

iar diametrul semifabricatului rezultă:

$$N_a = 45{,}6 + 2{,}144 = 47{,}844 \text{ mm}.$$

Pentru executarea unei piese la dimensiunea $\varnothing 45_{-0{,}017}$ se prevede o bară laminată cu diametrul de $48^{+0{,}6}_{-0{,}7}$ mm.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.3.1, c

Oțel rotund laminat la cald. Calitatea suprafeței se va lua: $H_a = 150$ μm iar $T_a = 150$ μm

Diametrul D, mm	Abateri limită pe diametru, mm		Toleranța $2\delta_a$	Eroarea de centrare $\varepsilon_{centrare}$, μm	Diametrul D, mm	Abateri limită de diametru, mm		Toleranța $2\delta_a$	Eroarea de centrare $\varepsilon_{centrare}$, μm
	+	—				+	—		
12	0,4	0,5	900	225	30	0,6	0,7	1300	325
13	0,4	0,5	900	225	32	0,6	0,7	1300	325
14	0,4	0,5	900	225	34	0,6	0,7	1300	325
16	0,4	0,5	900	225	36	0,6	0,7	1300	325
18	0,4	0,5	900	225	38	0,6	0,7	1300	325
20	0,4	0,5	900	225	40	0,6	0,7	1300	325
22	0,4	0,5	900	225	42	0,6	0,7	1300	325
25	0,4	0,5	900	225	45	0,6	0,7	1300	325
28	0,6	0,7	1300	325					

Tabelul 4.3.1, d

Eroarea de centrare a laminatului în diferite stadii de prelucrare, $\varepsilon_{centnare}$, μm

Stadiul prelucrării	Diametrul laminatului, mm				
	—30	30—50	50—80	80—120	120—180
După strunjirea de degroșare	20	20	25	35	50

Observații. După strunjirea de finisare, eroarea de centrare, fiind mică, se neglijează, Pentru eroarea de centrare a semifabricatului laminat, vezi tabelul 4.3.1,c.

Tabelul 4.3.1,e

Prelucrarea mecanică a oțelului laminat la cald a suprafețelor frontale

Metoda de prelucrare	Clasa de precizie STAS	Clasa de netezime GOST	H, μm	T, μm
Strunjirea frontală	7	3	50	50
— de degroșare				
— de finisare	6	4	30	300
Rectificarea suprafețelor frontale	4	6—7	—	—

Scanned with OKEN Scanner

Punîndu-se problema utilizării calculatorului electronic, în automatizarea proceselor tehnologice, trebuie pusă și problema exploatării raționale a acestuia, în sensul economisirii memoriei interne. Astfel s-a exprimat problema determinării adaosurilor de prelucrare prin formule matematice cît mai simple. Deci, trebuie găsită reprezentarea analitică a dependenței funcționale a variantei $a_{r_{max}}$ (adaosul de prelucrare) în raport de variabila d (diametrul) în baza unor reprezentări grafice sau considerente teoretice și bineînțeles cunoscînd procedeul de prelucrare.

Astfel spus, trebuie stabilită o funcție matematică de forma:

$$y = f(d, A, B, C_0, C_1, ..., C_k), \qquad (4.3.24')$$

$A, B, C_0, C_1, ..., C_k$ fiind parametrii care trebuie determinați.

Cunoscînd că cel mai adesea relația (4.3.24') poate avea una din formele: $y = A \cdot \lg d + B$;

$$y = C_1 \cdot d + C_0;\ y = C_2 \cdot d^2 + C_1 \cdot d + C_0;\ y = A \cdot d^B;$$

$$y = A \cdot e^{B \cdot d}, \qquad (4.3.25')$$

pentru obținerea unor estimații „suficient de bune" ale parametrilor A, B, C, C_1, C_2 se poate folosi: metoda interpolării [76], metoda celor mai mici pătrate [81] sau alte metode simplificatoare cum ar fi de exemplu metoda nivelării [82].

În baza celor de mai sus se pot obține rezultatele din tabelul 4.3.1 care permit cu mare rapiditate determinarea adaosului de prelucrare pentru diferite cazuri.

În cazul exemplului dat, pentru strunjirea de finisare adaosul prelucrare se determină cu formula:

$$a_{r_{max}} = \frac{0{,}3179\ \lg d + 0{,}524}{2} = \frac{0{,}3179\ \lg 45 + 0{,}524}{2} \cong 0{,}5\ \text{mm}.$$

Tabelul 4.3.1

Lungimea de prelucrare (pînă la) [mm] / Procedeu	25	50	62	100	120	160	250	500
Strunjire exterioară de finisare	$2a_{r_{max}} = 0{,}3179 \lg d + 0{,}524$			$2a_{r_{max}} = 0{,}7364 (d + 10)^{0.133} - 0{,}2$			$2a_{r_{max}} = 1{,}3063\ d^{0.063}$	
Strunjire interioară de finisare	$K = 0$		$K = 0{,}5$		$K = 1$		$K = 1{,}5$	
	$2a_{r_{max}} = 1{,}052 \lg d + (K - 0{,}145)$							
Rectificare cilindrică exterioară	$2a_{r_{max}} = 0{,}3814\ d^{0.1189} - 0{,}2$							

Pentru rectificare, adaosul de prelucrare se determină cu formula:

$$a_{r_{max}} = 0{,}1907\ d^{0{,}1189} - 0{,}1 = 0{,}1907 \cdot 45^{0{,}1189} - 0{,}1 \simeq 0{,}2 \text{ mm}.$$

4.3.2. CALCULUL REGIMULUI OPTIM DE AȘCHIERE DUPĂ METODA BAZATĂ PE TEORIA PROGRAMĂRII MATEMATICE

Calculul regimului optim de așchiere bazat pe teoria programării matematice (în special pe teoria programării liniare și neliniare):

— elimină arbitrariul în alegerea unora din parametrii regimului de așchiere;

— consideră durabilitatea muchiei așchietoare ca fiind o mărime variabilă dependentă de parametrii regimului de așchiere;

— reduce volumul de calcul;

— asigură valori optime pentru parametrii regimului de așchiere, care fac ca prelucrarea să se efectueze cu *costul minim* sau cu *productivitatea maximă*.

Calculul regimului optim de așchiere, bazat pe teoria programării matematice, reclamă modelarea problemei determinării parametrilor regimului de așchiere.

Modelul matematic al problemei respective este constituit dintr-o funcție de optimizare (sau chiar mai multe) și un sistem de funcții restrictive impuse de factorii care îngrădesc, sau limitează parametrii regimului de așchiere.

Printre factorii restrictivi cei mai importanți pot fi considerați următorii:

— ritmul liniei tehnologice, în cazul cînd prelucrarea piesei pentru care se calculează regimul optim de așchiere se face pe o linie tehnologică în flux continuu;

— cinematica mașinii-unelte;

— rezistența și stabilitatea elementelor sistemului tehnologic elastic (MUPS);

— temperatura din zona de așchiere;

— rugozitatea suprafeței prelucrate;

— adaosul de prelucrare și adîncimea minimă de așchiere.

4.3.2.1. **Modelul matematic al problemei calculului regimului optim de așchiere.** Pentru întocmirea modelului matematic a problemei enunțate, trebuie să se determine mai întîi expresia analitică a funcției de optimizare (sau de eficiență), apoi expresiile analitice ale funcțiilor restrictive.

4.3.2.1.1. *Funcția de optimizare.* În cazul în care se urmărește ca prelucrarea piesei la operația respectivă cu regimul optim de așchiere să asigure costul minim, funcția de optimizare se determină, ținînd seama de:

— retribuția muncitorului care efectuează prelucrarea la operația respectivă, exprimată în lei/min, și notată cu C_1;

— cheltuielile făcute cu scoaterea sculei uzate de pe mașină, reascuțirea ei și apoi reglarea din nou la dimensiune a sculei reascuțite, exprimate în lei/min, notate cu C_2;

— timpul de bază de mașină (în care are loc prelucrarea piesei la operația respectivă), exprimat în min/buc, notat cu τ_{bm};

— numărul de scoateri ale sculei uzate de pe mașină, precum și de ascuțiri și reglări ale ei pe mașină la dimensiune, în timpul prelucrării unei piese la operația respectivă, notat cu n_{ar}.

Determinarea expresiei analitice a funcției de optimizare se face pentru cazul cel mai general de prelucrare prin strunjire a unei *piese cu un profil oarecare de revoluție.*

Scanned with OKEN Scanner

Fie astfel piesa din figura 4.3.9, înscrisă într-un sistem de axe de coordonate rectangulare.

Pentru determinarea relației analitice a funcției de optimizare care exprimă costul prelucrării prin strunjire de copiere a suprafeței cu profilul oarecare, se determină mai întîi costul prelucrării unui element din suprafața respectivă, cu lățimea ΔX.

Costul prelucrării elementului respectiv este:

$$C = C_1 \cdot \Delta\tau_{bm} + C_2 n_{ar}, \quad (4.3.26)$$

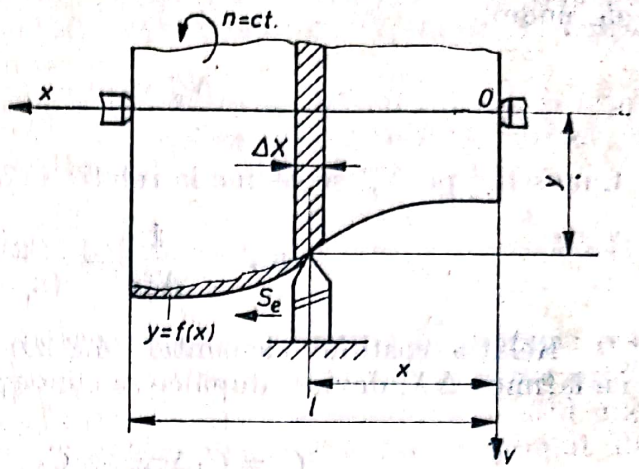


Figura 4.3.9. Profilul unei piese înscrise într-un sistem de axe rectangulare.

în care: $\Delta\tau_{bm}$ reprezintă timpul elementar de bază de mașină pentru prelucrarea elementului de suprafață cu lățimea ΔX, în min.

Semnificația celorlalți termeni din relația (4.3.26) a fost explicată.

Numărul n_{ar} este:

$$n_{ar} = \frac{\Delta\tau_{bm}}{T} = \frac{1}{N_p^{2r}}, \quad (4.3.27)$$

în care: T reprezintă durabilitatea muchiei așchietoare a sculei, în min, iar N_p^{2r} — numărul de piese prelucrate între două reascuțiri ale sculei, piese care au lungimea suprafeței care se prelucrează egală cu ΔX_{max}.

Numărul N_p^{2r} se determină funcție de uzura u de pe fața de așezare a sculei, care este:

$$u = u_i + u_0 \frac{L}{1000}, \quad (4.3.28)$$

în care: u_i reprezintă uzura inițială, în μm; u_0 — uzura relativă, în μm, (valorile lui u_i și u_0 se găsesc în [71]); L — lungimea drumului parcurs de sculă în metal în timpul așchierii celor N_p piese (piese prelucrate pînă cînd uzura muchiei așchietoare a sculei a atins valoarea u), exprimat în m, egal cu:

$$L = \frac{\pi d \Delta X}{10^6 s} N, \quad (4.3.29)$$

în care: d reprezintă diametrul suprafeței elementare care se prelucrează, în mm; s — avansul de lucru, în mm/rot.

Introducînd relația (4.3.29) în (4.3.28) se obține:

$$u = u_i + u_0 \frac{\pi d \Delta X}{10^6 s} N_p. \quad (4.3.30)$$

La limită, cînd uzura muchiei așchietoare a sculei a atins uzura maximă admisibilă și scula trebuie reascuțită;

$$u \to u_a = u_i + u_0 \frac{\pi d \Delta X}{10^6 s} N_p^{2r}, \quad (4.3.31)$$

Scanned with OKEN Scanner

de unde:

$$N_p^{2r} = \frac{u_a - u_i}{u_0} \frac{10^6 s}{\pi d \Delta X}. \tag{4.3.32}$$

Cunoscînd pe N_p^{2r} se revine la relaţia (4.3.27) din care rezultă că:

$$n_{ar} = \frac{1}{N_p^{2r}} = \frac{u_0}{(u_a - u_i)} \frac{\pi d \Delta X}{10^6 s}. \tag{4.3.33}$$

Relaţia costului elementar (4.3.26) a prelucrării suprafeţei elementare cu lăţimea ΔX, devine, după ce se cunoaşte expresia analitică a numărului n_{ar}:

$$C = C_1 \Delta \tau_{bm} + C_2 \frac{u_0}{(u_a - u_i)} \frac{\pi d \Delta X}{10^6 s}. \tag{4.3.34}$$

Din figura 4.3.9 se observă, că diametrul suprafeţei elementare ΔX este $d = 2y$, iar $y = f(x)$.

La rîndul lui $\Delta \tau_{bm}$ pentru strunjirea suprafeţei elementare ΔX este:

$$\Delta \tau_{bm} = \frac{\Delta X}{ns} i = \frac{\Delta X a_b}{nst}, \tag{4.3.35}$$

în care: a_b reprezintă mărimea adaosului de prelucrare, în mm; t — adîncimea de aşchiere, în mm.

În relaţie, în locul lui n se introduce expresia:

$$n = \frac{1\,000\ v}{\pi d}$$

şi se obţine:

$$\Delta \tau_{bm} = \frac{\pi d \Delta X a_b}{1\,000\ vst}. \tag{4.3.36}$$

Dacă se introduce în relaţia costului elementar (4.3.26) relaţia lui $\Delta \tau_{bm}$, rezultă:

$$\Delta C = C_1 \frac{\pi d \Delta X a_b}{1\,000\ vst} + C_2 \frac{u_0}{(u_a - u_i)} \frac{\pi d \Delta X}{10^6 s,}, \tag{4.3.37}$$

sau, înlocuind $d = 2y$, relaţia devine:

$$\Delta C = C_1 \frac{2\pi y \Delta X a_b}{1\,000\ vst} + C_2 \frac{u_0}{(u_a - u_i)} \frac{2\pi y \Delta X}{10^6 s}. \tag{4.3.38}$$

Dacă

$$C_1 \frac{2\pi a_b}{1\,000} = k_1, \quad \text{iar } C_2 \frac{u_0}{(u_a - u_i)} \cdot \frac{2\pi}{10^6} = k_2 \tag{4.3.39}$$

şi $y = f(x)$, se poate scrie că:

$$\Delta C = \frac{k_1}{vst} f(x) \Delta X + \frac{k_2}{s} f(x) \Delta X. \tag{4.3.40}$$

Scanned with OKEN Scanner

Costul elementar pentru prelucrarea suprafeței elementare cu lățimea ΔX, așa cum rezultă din relația (4.3.40) este funcție de variabila X, adică $\Delta C = f(x)\Delta X$.

Prin trecerea de la diferențe finite ΔX la diferențe infinit mici d_x și integrarea între limitele 0 și l_c (l_c fiind lungimea cursei pe care o face cuțitul cu avans de lucru), relația (4.3.40) devine:

$$C = \left(\frac{k_1}{vst} + \frac{k_2}{s}\right)\int_0^{l_c} f(x)\ dx. \tag{4.3.41}$$

Dacă suprafața profilată a piesei care trebuie prelucrată la operația respectivă este formată dintr-un număr de p suprafețe unitare, al căror profil variază după legi descrise de funcțiile $f_1(x)$, $f_2(x)$, ..., $f_p(x)$, atunci costul prelucrării tuturor acestor suprafețe la operația respectivă este exprimat de relația:

$$C_\Sigma = \sum_{j=1}^{p}\left(\frac{k_1}{vst} + \frac{k_2}{s}\right)\int_0^{l_c} f_j(x)\ dx. \tag{4.3.42}$$

Relația obținută este *funcția de optimizare generală* (respectiv relația generală de calcul a costului) *a modelului matematic a problemei determinării regimului optim de așchiere prin strunjire a pieselor cu suprafețe de revoluție cu un profil oarecare.*

Cheltuielile C_2 se exprimă prin relația:

$$C_2 = \tau_{as}C_3 + \tau_{sr}C_1 + \frac{C_c}{N_{pr}}, \tag{4.3.43}$$

în care: τ_{as} reprezintă timpul necesar pentru ascuțirea cuțitului, în min; C_3 — retribuția muncitorului ascuțitor, în lei/min; τ_{sr} — timpul necesar schimbării cuțitului uzat și reglării la dimensiune a cuțitului reascuțit, în lei/min; C_c — costul cuțitului, în lei; N_{pr} — numărul posibil de reascuțiri ale cuțitului, egal cu:

$$N_{pr} = \frac{l_c}{u_a}, \tag{4.3.44}$$

în care: l_c este lungimea din partea așchietoare a cuțitului care se pierde prin reascuțirea repetată a acestuia, în mm.

4.3.2.1.1.1. *Particularizări ale funcției de optimizare generale.* Funcția de optimizare generală a modelului matematic al problemei determinării regimului optim de așchiere prin strunjire a pieselor cu suprafețe de revoluție cu un profil oarecare, poate fi particularizată pentru prelucrarea prin strunjire a tuturor pieselor cu diverse forme geometrice de suprafețe.

a. Arbore cilindric cu diametrul d = constant. În cazul unui arbore cilindric cu diametrul d = const. (pe toată lungimea lui), numărul suprafețelor unitare $p = 1$, iar profilul suprafeței cilindrice variază după legea descrisă de funcția $f(x) = \frac{d}{2}$.

Scanned with OKEN Scanner

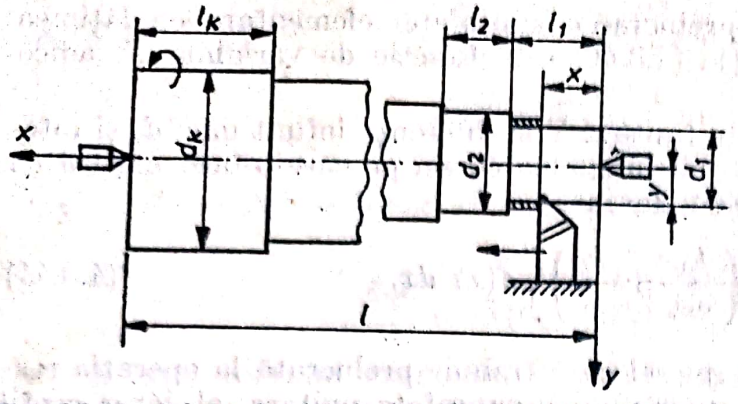


Fig. 4.3.10. Arbore în trepte înscris într-un sistem de axe rectangulare.

Introducînd în expresia analitică a funcției de optimizare generală (4.3.42) pe $f(x) = \frac{d}{2}$ și efectuînd integrarea se obține expresia analitică a funcției de optimizare:

$$C = \left(\frac{k_1}{vst} + \frac{k_2}{s}\right)\frac{d}{2} l_c, \tag{4.3.45}$$

sau, introducînd substituțiile k_1 și k_2, relația devine:

$$C = C_1 \frac{\pi d l_c a_b}{1000\, vst} + C_2 \frac{u_0}{(u_a - u_i)} \cdot \frac{\pi d l_c}{10^6 s}. \tag{4.3.46}$$

b. Arbore în trepte (fig. 4.3.10). Profilul suprafețelor unitare al celor k trepte, variază după legea descrisă de funcția $f_j(x) = \left|\frac{d_1}{2}, \frac{d_2}{2}, \ldots, \frac{d_k}{2}\right|$, j fiind egal cu 1, 2, ..., k.

Ținînd seama de acest lucru în relația funcției de optimizare generală, după integrare acesta devine:

$$C = \left(\frac{k_1}{vst} + \frac{k_2}{s}\right) \sum_{j=1}^{k} \frac{d_j}{2} l_j. \tag{4.3.47}$$

Relația funcției de optimizare (4.3.47) este justă numai pentru cazul cînd suprafețele frontale ale treptelor arborelui se prelucrează cu un cuțit cu $\varkappa = 90°$.

c. Arbore cu suprafață conică. Legea după care variază profilul suprafeței conice a arborelui din figura 4.3.11, este descrisă de funcția:

$$f_j(x) = y = \frac{d_1}{2} + \frac{X(d_2 - d_1)}{2l}, \tag{4.3.48}$$

$j = 1$, deoarece numărul suprafețelor unitare $p = 1$.

După ce ecuația (4.3.48) se introduce în relația funcției de optimizare generală (4.3.42), aceasta din urmă, după integrare, devine:

$$C = \left(\frac{k_1}{vst} + \frac{k_2}{s}\right)\frac{(d_2 + d_1)l}{4}. \tag{4.3.49}$$

d. Suprafață frontală. În cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe frontale cu avans transversal (v. fig. 4.3.12), o dată cu variația diametrului, variază și viteza de așchiere, precum și costul elementar de prelucrare, care este:

$$\Delta C = C_1 \Delta \tau_{bm} + C_2 n_{ar}. \tag{4.3.50}$$

Scanned with OKEN Scanner

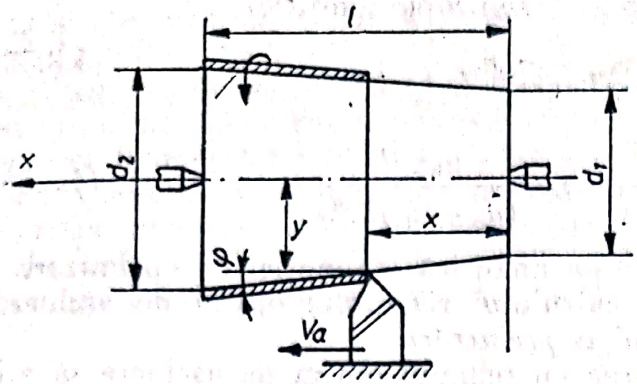


Fig. 4.3.11. Arbore conic înscris într-un sistem de axe rectangulare.

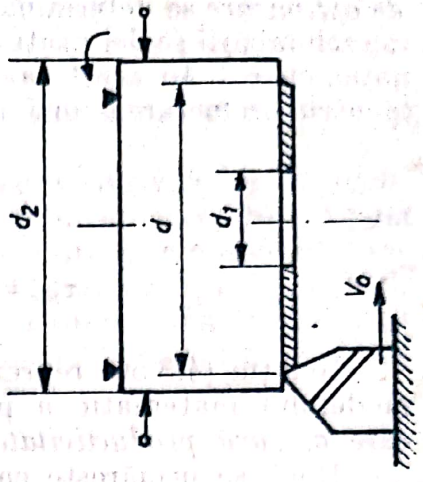


Fig. 4.3.12. Piesă cilindrică a cărei suprafață frontală se prelucrează cu avans transversal.

În relația (4.3.50) $\Delta\tau_{bm}$ reprezintă timpul elementar necesar prelucrării sectorului circular cu lățimea egală cu $\frac{\Delta d}{2}$, toată suprafața frontală fiind împărțită într-un număr n de sectoare circulare.

Timpul elementar este:

$$\Delta\tau_{bm} = \frac{\frac{\Delta d}{2}\pi d_i a_b}{1000\,\rho st}; \tag{4.3.51}$$

iar

$$n_{ar} = \frac{u_0}{u_a - u_i}\,\frac{\pi d_i \frac{\Delta d}{2}}{10^6 s}. \tag{4.3.52}$$

Ținînd seama de relațiile (4.3.51) și (4.3.52), relația costului elementar (4.3.50) devine:

$$\Delta C = C_1\,\frac{\frac{\Delta d}{2}\pi d_i a_b}{1000\,\rho st} + C_2\,\frac{u_0}{u_a - u_i}\,\frac{\pi d_i \frac{\Delta d}{2}}{10^6 s}. \tag{4.3.53}$$

Dacă se mărește numărul de sectoare circulare elementare de la n la ∞, mărimile finit mici ΔC și Δd devin mărimi infinitezimale dC și dd și prin integrarea relației (4.3.53) între limitele d_1 și d_2 se obține relația funcției de optimizare a costului prelucrării cu avans transversal a unei suprafețe frontale:

$$C = C_1\,\frac{\pi d_2 (d_1 - d_2) a_b}{1000\,\rho st} + C_2\,\frac{u_0}{(u_a - u_i)}\,\frac{\pi(d_1^2 - d_2^2)}{2\cdot 10^6 s}. \tag{4.3.54}$$

Atunci cînd se urmărește a se obține o productivitate maximă a prelucrării la operația respectivă, exprimată prin timpul de lucru pe bucată, *funcția*

Scanned with OKEN Scanner

de optimizare se determină, ținînd seama, în afară de τ_{bm}, n_{ar}, de timpul necesar schimbării sculei uzate cu una reascuțită și reglarea ei la dimensiune, timp notat cu τ_{sr}. În acest caz, timpul de lucru pe bucată τ_{buc} la o operație este (pentru prelucrarea unei piese cu $p = 1$ suprafețe unitare):

$$\tau_{buc} = \tau_{bm} + \tau_{sr} n_{ar} \tag{4.3.55}$$

sau

$$\tau_{buc} = \frac{\pi d l a_b}{1000\, v s t} + \tau_{sr} \frac{u_0 \pi d l}{(u_a - u_i) 10^6 s}. \tag{4.3.56}$$

Relația (4.3.56) reprezintă expresia analitică a funcției de optimizare a modelului matematic a problemei calculului regimului optim de așchiere, care *asigură productivitatea maximă a prelucrării.*

Dacă se urmărește ca prelucrarea cu regimul optim de așchiere să asigure un consum minim de energie electrică, atunci *funcția de optimizare* a modelului matematic al problemei calculului regimului de așchiere trebuie să exprime consumul de energie funcție de parametrii regimului de așchiere.

Expresia analitică a funcției de optimizare care exprimă consumul de energie electrică (E) la prelucrarea prin strunjire se determină, ținînd seama de puterea necesară realizării mișcării principale de așchiere (P), precum și de timpul în care are loc așchierea (τ_{bm}).

Astfel, se poate scrie:

$$E = P \cdot \tau_{bm}. \tag{4.3.57}$$

La rîndul ei,

$$P = \frac{F_z v}{6{,}12 \cdot 10^4} \cdot \text{[kW]} \tag{4.3.58}$$

Dacă în relația puterii (4.3.58) se introduce expresia analitică a componentei F_z se obține:

$$P = \frac{v}{6{,}12 \cdot 10^4} C_{F_z} \cdot t^{X_{F_z}} \cdot s^{Y_{F_z}}. \tag{4.3.59}$$

Explicitînd și pe ultimul termen din relația energiei, $\left(\tau_{bm} = \frac{l_c a_b}{nst} = \frac{\pi d l_c a_b}{1000\, v s t}\right)$, după ce se introduce (4.3.59), se obține relația analitică a *funcției de optimizare care exprimă consumul de energie electrică la prelucrarea prin strunjire*:

$$E = \frac{C_{F_z} \pi d l_c a_b}{6{,}12 \cdot 10^7} t^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}}. \tag{4.3.60}$$

4.3.2.2. Funcțiile restrictive care îngrădesc regimul de așchiere și expresiile lor analitice.

● *Funcția restrictivă impusă de ritmul liniei tehnologice și coeficientul de încărcare al utilajului.* Dacă procesul tehnologic de prelucrare al piesei se desfășoară pe o linie tehnologică în flux continuu, automată sau neautomatizată, regimul de așchiere cu care se face prelucrarea în fiecare operație, pentru a fi optim, trebuie să asigure nu numai costul minim, productivitatea maximă și minimizarea sau maximizarea și a altor funcții de optimizare, ci

și un timp de lucru pe bucată (τ_{buc}), care să aibă o valoare egală sau puțin mai mică decît valoarea ritmului liniei tehnologice, pentru ca lucrul să se desfășoare continuu, fără întreruperi sau strangulări la diverse operații.

Deci, ritmul liniei tehnologice (notat cu R_l) este o restricție de bază care îngrădește regimul optim de așchiere la fiecare operație a procesului tehnologic.

Regimul de așchiere optim trebuie să aibă o astfel de valoare, încît să asigure și un coeficient maxim de încărcare al utilajului pe care are loc prelucrarea la operația respectivă (notat cu K_{mu}). Dacă se impune o anumită valoare a acestui coeficient, care trebuie să fie cît mai apropiată de 1, atunci, expresia analitică a funcției restrictive impusă de ritmul liniei tehnologice și de coeficientul de încărcare al utilajului se determină, plecînd de la relația timpului de lucru pe bucată, care trebuie să fie:

$$\tau_{buc} = R_l Q_{mu} K_t, \tag{4.3.61}$$

în care: Q_{mu} reprezintă numărul de mașini-unelte pe care are loc prelucrarea piesei la operația respectivă; τ_{buc} mai poate fi exprimat și funcție de timpul de bază de mașină τ_{bm} și de o sumă de timpi neproductivi, astfel:

$$\tau_{buc} = \tau_{bm} + \tau_a + \tau_{pi} + \tau_{d.t.o.}. \tag{4.3.62}$$

Deoarece timpii neproductivi nu sînt funcții directe de parametrii regimului de așchiere, se pot nota cu τ_Σ și atunci relația (4.3.62) devine:

$$\tau_{buc} = \tau_{bm} + \tau_\Sigma, \tag{4.3.63}$$

sau, explicitînd pe τ_{bm} se obține:

$$\tau_{buc} = \frac{la_b}{nst} + \tau_\Sigma = \frac{\pi D a_b}{1000\, vst} + \tau_\Sigma. \tag{4.3.64}$$

Așa cum s-a arătat la începutul acestui paragraf, τ_{buc} la fiecare operație trebuie să fie egal sau puțin mai mic decît R_l adică:

$$\tau_{buc} \leqslant R_l \cdot Q_{mu}\, K_t. \tag{4.3.64'}$$

Din relațiile (4.3.64) și (4.3.64') rezultă *expresia analitică a funcției restrictive impusă de ritmul liniei tehnologice și de coeficientul de încărcare a utilajului* (respectiv a mașinii/mașinilor-unelte pe care are loc prelucrarea piesei la operația respectivă pentru care se calculează regimul optim de așchiere):

$$vts \geqslant \frac{\pi d l_c a_b}{1000\,(R_l Q_{mu} K_t - \tau_\Sigma)}, \tag{4.3.65}$$

în care: l_c reprezintă lungimea cursei parcursă de scula așchietoare cu avans de lucru, în mm; D — diametrul suprafeței care se prelucrează, în mm; v — viteza de așchiere, în m/min.

● *Funcția restrictivă impusă de puterea motorului electric principal al mașinii-unelte.* Regimul optim de așchiere cu care are loc prelucrarea trebuie să nu dezvolte o forță de așchiere, care să conducă la depășirea puterii motorului principal al mașinii-unelte, P (în kW).

Deci:

$$\eta P \geqslant \frac{F_z v}{60 \cdot 75 \cdot 1{,}36}, \tag{4.3.66}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: F_z reprezintă componenta tangențială a forței de așchiere; η — randamentul lanțului cinematic principal al mașinii-unelte.

Componenta F_z a forței de așchiere se poate exprima, în funcție de avansul de lucru, și de adîncimea de așchiere, prin relația:

$$F_z = C_{F_z} t^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}}, \tag{4.3.67}$$

în care: C_{F_z} reprezintă un coeficient care ține seama de condițiile reale de așchiere, iar X_{F_z} și Y_{F_z} sînt exponenți a căror valoare se determină experimental, sau se preia din normative.

Introducînd relația (4.3.67) în (4.3.66) se obține relația restricției impusă de puterea motorului electric principal al mașinii-unelte:

$$vt^{X_{F_z}} \cdot s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{6{,}120 \cdot 10^4 \eta P}{C_{F_z}}, \tag{4.3.68}$$

● *Funcția restrictivă impusă de încărcarea maximă admisă de mecanismul de avans al mașinii-unelte.* Forța maximă admisă de mecanismul de avans F_a al mașinii-unelte trebuie să fie mai mare sau cel mult egală cu componenta axială a forței de așchiere F_x.

Pentru un calcul mai exact trebuie să se ia în considerare și componenta tangențială F_z a forței de așchiere, care se compune cu F_x, rezultînd $F_{yxz} = \sqrt{F_x^2 + F_z^2}$.

Pentru scopul didactic urmărit rămîne numai F_x și se scrie condiția:

$$F_a \geqslant F_x. \tag{4.3.69}$$

Dacă se ține seama de raportul care există între componentele forței de așchiere ($F_x = (0{,}3—0{,}4)\, F_z$, precum și de expresia analitică a componentei F_z [v. (4.3.67)], relația (4.3.69) devine:

$$(0{,}3 - 0{,}4)\, C_{F_z} t^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}} \leqslant F_a, \tag{4.3.70}$$

de unde rezultă expresia analitică *a funcției restrictive impusă de forța maximă admisibilă pe care o poate transmite mecanismul de avans al strungului:*

$$t^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{F_a}{(0{,}3 - 0{,}4)\, C_{F_z}}. \tag{4.3.71}$$

● *Funcțiile restrictive impuse de rigiditatea sistemului tehnologic MUPS (mașină-unealtă-piesă-sculă).* Funcția restrictivă impusă de rigiditatea mașinii-unelte. În timpul procesului de așchiere, sub acțiunea forței de așchiere, întreg sistemul tehnologic se deformează elastic, ceea ce face ca forma geometrică și dimensiunile piesei să fie diferite de cele care s-ar obține în cazul în care sistemul tehnologic ar avea o *rigiditate absolută.* Ori se știe, că nu există sistem tehnologic cu o astfel de rigiditate (în special mașina-unealtă nu poate avea o rigiditate absolută).

Dacă prelucrarea piesei nu se face cu *regimul optim de așchiere*, atunci forța de așchiere care se dezvoltă în timpul așchierii, provoacă deformația elastică a mașinii-unelte (a păpușii fixe, mobile și a suportului), a piesei și a sculei, ceea ce conduce la erori de formă și dimensiuni ale piesei prelucrate, mai mari decît cele admise.

Rezultă deci, că regimul de așchiere este îngrădit de rigiditatea sistemului tehnologic, care *constituie o restricție de bază a acestuia.*

Scanned with OKEN Scanner

Pentru determinarea expresiei analitice a funcției restrictive impusă de rigiditatea mașinii-unelte, se preia relația (4.3.288), a componentei F_z a forței de așchiere:

$$F_z = \frac{K\,E\,d\,f_{d.max.ad}}{c^3\mu + \left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{pm}}\right) + \frac{1}{j_{sup}}\right] 2{,}1\;Ed}. \qquad (4.3.72)$$

În această relație se înlocuiește F_z cu expresia lui analitică (4.3.67) și se obține:

$$C_{F_z}\,t^{X_{F_z}}\,s^{Y_{F_z}} = \frac{K\,E\,d\,f_{d.max.ad}}{C^3\mu + \left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{pm}}\right) + \frac{1}{j_{sup}}\right] 2{,}1\;Ed}. \qquad (4.3.73)$$

Din relația de mai sus rezultă (după ce se înlocuiește semnul $=$ cu $\leqslant$ pentru a se asigura obținerea săgeții $f_{d.max.ad}$, și după ce se trece în membrul al doilea al inegalității constanta C_{F_z}) *expresia analitică a funcției restrictive impusă de rigiditatea mașinii-unelte și de precizia de prelucrare* exprimată prin $f_{d.max.ad}$ care trebuie să fie: $f_{d.max.ad} \leqslant 2\delta_d$:

$$t^{X_{F_z}}\,s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{K\,E\,d\,f_{d.max.ad}}{C^3\mu + \left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{pm}}\right) + \frac{1}{j_{sup}}\right] 2{,}1\;Ed}, \qquad (4.3.74)$$

în care: $K = 1{,}9$ cînd $F_y = 0{,}5\,F_z$; $K = 1{,}5$ cînd $F_y = F_z$; j reprezintă rigiditatea păpușii fixe; j_{pm} — rigiditatea păpușii mobile și j_{sup} — rigiditatea suportului portcuțit împreună cu a săniei superioare și transversale a strungului.

Funcția restrictivă impusă de rigiditatea piesei care se prelucrează. În timpul procesului de așchiere sub acțiunea rezultantei componentelor F_y și F_z a forței de așchiere (în cazul studiat: la strunjirea unui arbore), atunci cînd rigiditatea lui nu este suficient de mare, apare o deformație de încovoiere (o săgeată dinamică) care face ca forma suprafeței prelucrate să fie diferită de forma cilindrică (suprafața prelucrată are forma unui butoiaș cînd piesa este prelucrată între vîrfuri, sau are forma din fig. 4.3.13, cînd este prelucrată în consolă).

Pentru ca abaterea de la forma *cilindrică* a suprafeței prelucrate să nu depășească limita maximă admisibilă a cîmpului de toleranță prevăzut pe desenul de execuție, trebuie ca săgeata dinamică maximă admisibilă ($f_{d.max.ad}$) a piesei, la capătul sau la mijlocul ei, *a cărei valoare este dependentă de rigiditatea ei și de regimul de așchiere*, să fie mai mică decît cea care apare în timpul procesului de așchiere provocată de rezultanta componentelor F_y și F_z a forței de așchiere.

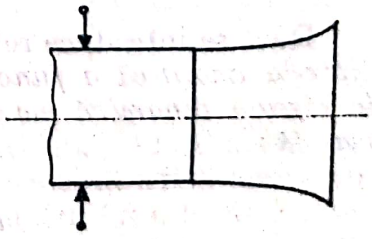


Fig. 4.3.13. Forma geometrică a unui arbore a cărui rigiditate nu este suficient de mare prelucrat prin strunjire în consolă.

Deci, regimul de așchiere este îngrădit de rigiditatea piesei care se prelucrează și de săgeata ei dinamică maximă admisibilă, de unde rezultă funcția restrictivă impusă, a cărei expresie analitică se determină plecînd de la condiția:

$$f_{st}\mu \leqslant f_{d.max.ad} = \delta_r, \qquad (4.3.75)$$

în care δ_r reprezintă toleranța pe rază a diametrului suprafeței care se prelucrează.

Scanned with OKEN Scanner

Săgeata statică f_{st} a piesei, cînd piesa este fixată între vîrfuri și forța aplicată se află la mijlocul distanței dintre cele două reazeme (vîrfuri ale strungului), este egală cu $f_{st} = \frac{Fl^3}{48\,EJ}$. Conform condiției impuse (4.3.75), condiție care asigură precizia impusă piesei, rezultă:

$$\frac{F_{ryz}\,l^3}{48\,EJ}\,\mu \leqslant f_{d.max.ad}. \tag{4.3.76}$$

Din această relație, după transformările necesare, se obține relația componentei F_z a forței de așchiere:

$$F_z = \frac{3E\pi d^4 f_{d.max.ad}}{4\sqrt{1{,}25}\,\mu l^3} = \frac{K\,E\,d\,f_{d.max.ad}}{\mu C^3}, \tag{4.3.77}$$

în care: $K = 1{,}9$ pentru cazul în care $F_y = 0{,}5\,F_z$; $K = 1{,}5$ atunci cînd $F_y = F_z$; $C = \frac{l}{d}$; d — diametrul suprafeței care se prelucrează.

Introducînd în (4.3.77) relația (4.3.67), la limită se obține:

$$C_{F_z}\,t^{X_{F_z}}\,s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{KEdf_{d.max.ad}}{\mu C^3}, \tag{4.3.78}$$

din care rezultă *expresia analitică a funcției restrictive impusă de rigiditatea piesei, respectiv de săgeata dinamică maximă admisibilă a piesei care se prelucrează între vîrfuri:*

$$t^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{KEdf_{d.max.adm}}{C_{F_z}\,\mu C^3}. \tag{4.3.79}$$

Pentru cazul în care piesa care se prelucrează este fixată în consolă (cu lungimea în consolă egală cu l), condiția care asigură precizia de prelucrare este:

$$\frac{F_{ryz}\,l^3\mu}{3\,EJ} \leqslant f_{d.max.ad}. \tag{4.3.80}$$

Pentru cuțite reascuțite se reamintește că $F_y = 0{,}5\,F_z$, iar $F_{ryz} = \sqrt{1{,}25}\,F_z$. Ținînd seama de acest lucru, din relația de mai sus rezultă:

$$F_z \leqslant \frac{3\,EJf_{d.max.ad}}{\sqrt{1{,}25}\,l^3\mu} \leqslant \frac{0{,}13\,E\,d\,f_{d.max.ad}}{\mu C^3}. \tag{4.3.81}$$

Dacă se introduce relația lui F_z (4.3.67) în relația (4.3.81) se poate obține *expresia analitică a funcției restrictive impusă de rigiditatea piesei, respectiv de săgeata dinamică maximă admisibilă a piesei, cînd aceasta este fixată în consolă:*

$$t^{X_{F_z}}\,s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{0{,}13\,E\,d\,f_{d.max.ad}}{C_{F_z}\,\mu C^3}. \tag{4.3.82}$$

F u n c ț i a r e s t r i c t i v ă i m p u s ă d e r i g i d i t a t e a s c u l e i. Sub acțiunea forței de așchiere, scula respectiv cuțitul de strung (în cazul studiat al strunjirii unui arbore), se deformează elastic, fapt care pe

Scanned with OKEN Scanner

de o parte influențează negativ asupra preciziei de prelucrare, iar pe de altă parte favorizează apariția vibrațiilor în timpul așchierii.

De aceea, regimul optim de așchiere trebuie să aibă o astfel de valoare, care să nu dea naștere la o forță de așchiere capabilă să producă deformația elastică a cuțitului.

Deci, rigiditatea sculei, respectiv *rezistența cuțitului* la deformația de încovoiere în timpul așchierii sub influența forței de așchiere, *constituie o restricție importantă care limitează unii parametri ai regimului de așchiere.*

La prelucrarea prin strunjire cuțitul fiind fixat în consolă, rezistența lui admisibilă σ_a la deformația de încovoiere (în MPa) este:

$$\sigma_a = \frac{F_z \cdot l}{W}, \tag{4.3.83}$$

în care: l reprezintă lungimea în consolă a corpului cuțitului, în cm; W — modulul de rezistență al corpului cuțitului, în cm^3, corespunzător momentului de inerție I, în cm^4.

Se știe că, pentru o bară cu secțiunea dreptunghiulară (cu lățimea b și înălțimea h):

$$W = \frac{bh^2}{6}. \tag{4.3.84}$$

Deci, relația (4.3.83) la limită, devine

$$\sigma_a \geqslant \frac{6 \cdot F_z \cdot l}{bh^2}. \tag{4.3.85}$$

Cunoscînd expresia analitică a lui F_z (v. rel. 4.3.67), din relația (4.3.85) rezultă *relația funcției restrictive impusă unor parametri ai regimului optim de așchiere de rezistența cuțitului la deformația lui de încovoiere:*

$$t^{x_{F_z}} s^{y_{F_z}} \leqslant \frac{\sigma_a bh^2}{6 l C_{F_z}}. \tag{4.3.86}$$

În cazul în care se impune ca în timpul procesului de așchiere săgeata la vîrful cuțitului provocată de componenta F_z a forței de așchiere să nu depășească valoarea maximă admisibilă, atunci trebuie ca regimul optim de așchiere să aibă o astfel de valoare, încît să nu dea naștere unei forțe de așchiere a cărei componentă F_z să provoace o săgeată mai mare decît cea maximă admisibilă (la lucrul cu un cuțit care are o anumită secțiune b h și lungime l în consolă).

Cunoscînd că:

$$f_d = \mu f_{st} = \frac{Fl^3}{3EJ}, \tag{4.3.87}$$

în care: f_d reprezintă săgeata dinamică la vîrful cuțitului, adică aceea care apare în timpul procesului de așchiere; f_{st} — săgeata statică, adică aceea care apare atunci cînd în stare statică se aplică la vîrful cuțitului o forță F; μ — coeficient dinamic a cărui valoare este > 1.

La limită, f_d devine $f_{d.max.ad.}$, iar relația (4.3.87) în care F este echivalentă cu F_z, devine:

$$f_{d.max.ad} \geqslant \mu f_{st} \geqslant \frac{F_z l^3}{3EJ}, \tag{4.3.88}$$

Scanned with OKEN Scanner

din care rezultă:

$$F_z \leqslant \frac{3\,EJf_{d.max.ad}}{l^3},$$

sau

$$t^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{3\,EJf_{d.max.ad}}{C_{F_z} l^3}. \tag{4.3.89}$$

Dacă în relaţia de mai sus se introduce expresia momentului de inerţie J pentru o bară dreptunghiulară (echivalentă cu forma corpului cuţitului) $J = \frac{bh^3}{12}$, atunci ea devine:

$$t^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{Ebh^3 f_{d.max.ad}}{4\,C_{F_z} l^3} \tag{4.3.90}$$

Relaţia (4.3.90) reprezintă expresia analitică a funcţiei restrictive impusă *de săgeata maximă admisibilă la vîrful cuţitului în timpul aşchierii cu regimul optim de aşchiere.*

Funcţia restrictivă impusă de temperatura maximă admisă în zona de aşchiere. Regimul de aşchiere este îngrădit şi de valoarea temperaturii muchiei aşchietoare în zona de aşchiere în timpul procesului de aşchiere.

Temperatura respectivă notată cu θ nu trebuie să depăşească temperatura maximă admisă $\theta_{max.ad}$ de materialul din care este confecţionată scula, pentru ca muchia aşchietoare a acesteia să nu-şi piardă rezistenţa la uzură mai devreme decît atunci cînd:

$$\theta \leqslant \theta_{max.ad}. \tag{4.3.91}$$

Temperatura rezultată în zona de aşchiere la prelucrarea prin strunjire, funcţie de parametrii regimului de aşchiere, poate fi exprimată prin relaţia:

$$\theta = C_\theta n^{X_\theta} t^{Y_\theta} s^{Z_\theta}, \tag{4.3.92}$$

sau înlocuind turaţia n cu viteza de aşchiere, relaţia devine:

$$\theta = C_\theta \frac{(1000\,v)^{X_\theta}}{(\pi d)^{X_\theta}} \cdot t^{Y_\theta} s^{Z_\theta}. \tag{4.3.93}$$

Ţinînd seama de relaţia (4.3.91) se obţine expresia analitică a *funcţiei restrictive impusă de temperatura maximă admisă în zona de aşchiere:*

$$(1000\,v)^{X_\theta} t^{Y_\theta} s^{Z_\theta} \leqslant \frac{\theta_{max.ad}(\pi d)^{X_\theta}}{C_\theta}. \tag{4.3.94}$$

Funcţia restrictivă impusă de rugozitatea suprafeţei care se prelucrează. Mărimea rugozităţii suprafeţei prelucrate a piesei este (în afară de calitatea materialului din care este confecţionată) influenţată de avansul de lucru s şi de mărimea razei la vîrf a muchiei aşchietoare a sculei.

Deci, şi mărimea rugozităţii suprafeţei prelucrate este o restricţie foarte importantă a regimului de aşchiere în prelucrările de finisare.

După [43] înălţimea rugozităţii R_z la prelucrarea de finisare prin strunjire se poate calcula cu relaţia:

$$R_z = 0{,}21 \frac{s^{1{,}07}}{r^{0{,}85}}, \tag{4.3.95}$$

Scanned with OKEN Scanner

din care rezultă expresia analitică a funcției restrictive impusă de rugozitatea suprafeței prelucrate:

$$s^{1,07} \leqslant \frac{R_z r^{0,85}}{0,21}. \tag{4.3.96}$$

După [43] mărimea R_z a rugozității suprafeței prelucrate prin strunjire cu $s = 0,18$ mm/rot și $t = 0,3$ mm cu un cuțit armat cu plăcuță din aliaj dur T15K6, cu $\alpha = 10°$, $\gamma = -2°$; $\lambda = 45°$, $\varkappa_1 = 5°$ și $r = 1$ mm, funcție de viteza de așchiere și toleranța dimensiunii, poate fi exprimată prin relația:

$$R_z^{y_v} = \frac{C_v K_v}{v \delta^{x_v}}, \tag{4.3.97}$$

din care rezultă expresia analitică *a funcției restrictive impusă de rugozitatea și toleranța suprafeței prelucrate prin strunjire, funcție de viteza de așchiere.*

$$v \geqslant \frac{C_v K_v}{\delta^{x_v} R_z^{y_v}}, \tag{4.3.98}$$

în care: C_v reprezintă un coeficient a cărui valoare este funcție de condițiile de așchiere; K_v — coeficient, valoarea căruia este funcție de valoarea vitezei de așchiere; δ — toleranța la dimensiunea suprafeței, prevăzută pe desenul de execuție al piesei; x_v și y_v — exponenți egali cu 1,19 respectiv 1,15 determinați experimental la strunjirea cu s și t indicați, cu cuțitul a cărei geometrie a fost arătată.

Funcția restrictivă impusă de adaosul de prelucrare și adîncimea de așchiere. Adîncimea de așchiere trebuie să fie mai mică decît adaosul de prelucrare și mai mare decît adîncimea de așchiere minimă $t_{min.ad.}$, care asigură așchierea continuă.

Deci, expresia analitică a funcției restrictive impusă de adaosul de prelucrare și de adîncimea de așchiere, are forma:

$$t_{min.ad.} \leqslant t \leqslant a_b. \tag{4.3.99}$$

Funcția restrictivă impusă de avansul de lucru. Întrucît mașinile-unelte sînt prevăzute cu cîte o cutie de avansuri cu un număr mare de trepte de avansuri, dintre avansurile posibile de obținut la mașina-unealtă respectivă, tehnologul trebuie să impună, ca o restricție care îngrădește regimul de așchiere, ca avansul de lucru să fie cuprins într-un interval de valori cît mai apropiat de valoarea aproximativă a avansului funcție de mărimea rugozității prevăzută pe desenul de execuție al piesei care se prelucrează.

Deci, expresia analitică a *funcției restrictive impusă de avansul de lucru*, este:

$$s_{min} \leqslant s \leqslant s_{max}. \tag{4.3.100}$$

În afară de condițiile restrictive prezentate mai trebuie prevăzute și următoarele condiții de nenegativitate a variabilelor regimului de așchiere și anume:

$$v > 0,\ s > 0,\ t > 0. \tag{4.3.101}$$

4.3.2.3. **Întocmirea modelului matematic.** Modelul matematic al problemei calculului regimului optim de așchiere este constituit dintr-o funcție de optimizare sau mai multe. și sistemul de restricții format din funcțiile restrictive care îngrădesc parametrii regimului de așchiere.

Scanned with OKEN Scanner

Se dă drept exemplu de întocmire a modelului matematic, cel al problemei calculului regimului optim de aşchiere pentru strunjirea unui arbore drept între vîrfuri.

Formularea matematică a problemei determinării prin calcul a parametrilor regimului optim de aşchiere, cu ajutorul programării matematice se prezintă astfel:

Să se determine parametrii regimului optim de aşchiere, v, s şi t, care fac minimă funcţia:

$$C = C_1 \frac{\pi d l_c a_b}{1000\, vst} + C_2 \frac{u_0}{(u_a - u_i)} \frac{\pi d l_c}{10^6 s} \longrightarrow \text{minim}$$

în condiţiile:

$$vst \geqslant \frac{\pi d l_c a_b}{1000(R_i Q_{mu} K_t - \tau_\Sigma)};$$

$$vt^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{6{,}12 \cdot 10^4 \eta P}{C_{F_z}};$$

$$t^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{F_a}{(0{,}3 - 0{,}4) C_{F_z}};$$

$$t^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{KEdf_{d.max.ad}}{C^3 + \left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{pm}}\right) + \frac{1}{j_{sup}}\right] 2{,}1\, Ed};$$

$$t^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{KEdf_{d.max.ad}}{C_{F_z} \mu c^3};$$

$$t^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{\sigma_a b h^2}{6 l C_{F_z}};$$

$$t^{X_{F_z}} s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{Ebhf_{d.max.ad}}{4 C_{F_z} l^3};$$

$$(1000\, v)^{X_\theta} t^{Y_\theta} s^{Z_\theta} \leqslant \frac{\theta_{max.ad} (\pi d)^{X_\theta}}{C_\theta};$$

$$s^{1{,}07} \leqslant \frac{R_z r^{0{,}85}}{0{,}21};$$

$$v \geqslant \frac{C_v K_v}{\delta^{X_v} R_z^{y_v}};$$

$$t \geqslant t_{min.ad};$$

$$t \leqslant a_b;$$

$$s \geqslant s_{min};$$

$$s \leqslant s_{max};$$

$$v > 0;$$

$$s > 0;$$

$$t > 0.$$

Scanned with OKEN Scanner

4.3.3. CALCULUL REGIMULUI OPTIM DE AȘCHIERE ȘI A VARIANTEI ECONOMICE DE PRELUCRARE PE STRUNGURI REVOLVER ȘI AUTOMATE, CU MAI MULTE SCULE SIMULTAN

Prelucrarea într-o operație a mai multor suprafețe a unei piese cu mai multe scule simultan prin diverse procedee sau metode tehnologice de prelucrare pe mașini specializate, se întîlnește foarte frecvent în întreprinderile constructoare de mașini cu producție de serie și masă.

Metoda clasică de calcul a regimului de așchiere impune ca regimul de așchiere să se calculeze pentru scula cea mai solicitată, a cărei alegere sau stabilire este, în majoritatea cazurilor, destul de arbitrară și nu oferă garanția obținerii regimului optim.

În afară de acest neajuns, metoda clasică nu indică varianta optimă de înlocuire a sculelor uzate cu scule reascuțite și de reglare a lor la dimensiune.

Metoda elaborată de școala noastră asigură obținerea prin calcul, bazat pe teoria programării matematice, a regimului optim de așchiere, precum și varianta de înlocuire a sculelor uzate cu scule reascuțite, variantă care conduce la *costul minim de prelucrare a unei piese la o operație*, *sau la productivitatea maximă*.

În cazul prelucrării unei piese într-o operație cu mai multe scule simultan, există următoarele posibilități de înlocuire a sculelor uzate cu scule reascuțite:

I — înlocuirea secvențială pe măsură ce fiecare sculă atinge uzura maximă admisibilă și reglarea la dimensiune direct pe mașina-unealtă;

II — înlocuirea simultană a tuturor sculelor în momentul în care prima sculă din completul de scule a atins uzura maximă admisibilă și reglarea lor direct pe mașina-unealtă;

III — înlocuirea simultană a tuturor sculelor în aceleași condiții ca în cazul precedent și reglarea lor la dimensiune în afara mașinii-unelte într-un dispozitiv de prereglare.

Pentru calculul regimului optim de așchiere și a variantei optime de înlocuire a sculelor uzate cu scule reascuțite și de reglare a lor la dimensiune se determină *funcția de optimizare și sistemul de restricții* a modelului matematic pentru fiecare din cele trei variante enumerate de lucru. Se calculează costul prelucrării pentru fiecare variantă și se compară costul prelucrării obținut în urma rezolvării modelelor matematice respective. Varianta cu costul minim este varianta optimă.

Determinarea expresiilor analitice ale funcțiilor de optimizare pentru cele trei variante de lucru. Pentru a se înțelege mai ușor modul de determinare a expresiilor analitice ale funcțiilor de optimizare a modelelor matematice se admite exemplul concret de prelucrare reprezentat în figura 4.3.14.

Varianta I. Costul prelucrării unei piese la o operație, după această variantă se exprimă prin următoarea relație:

$$C_I = \tau_{bm} C_1 + \sum_{i=1}^{n} C_{2i} n_{ar_i}, \qquad (4.3.102)$$

în care: τ_{bm}, C_1, C_2 și n_{ar} au aceeași semnificație ca în cazurile precedente; n — reprezintă numărul de cuțite din completul de cuțite; $i = 1, 2, \ldots, n$ — — numărul sau codul fiecărui cuțit din complet.

Relația generală (4.3.102) particularizată la cazul concret reprezentat în figura 4.3.14, se poate scrie sub forma:

$$C_I = \tau_{bm} + C_1 + C_{2_1} n_{ar_1} + C_{2_2} n_{ar_2} + C_{2_3} n_{ar_3}. \qquad (4.3.103)$$

Scanned with OKEN Scanner

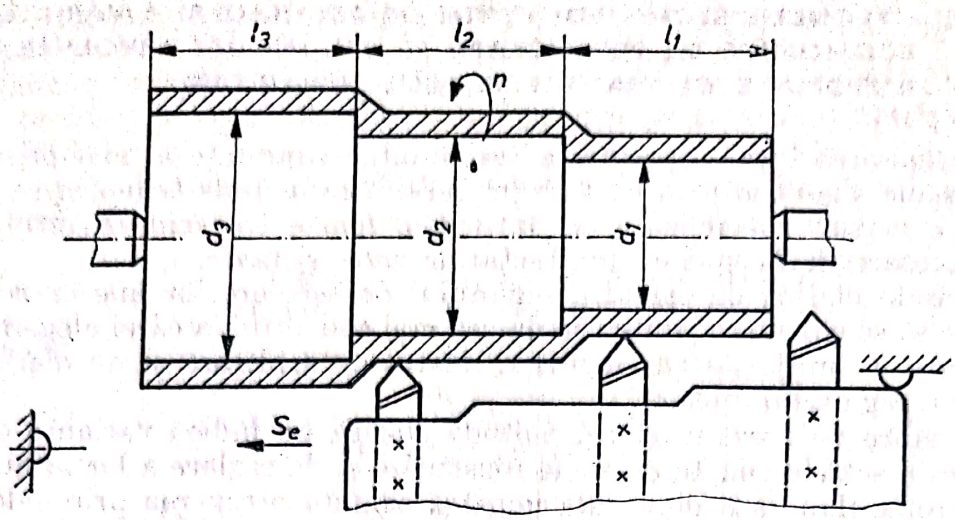


Fig. 4.3.14. Schema de reglaj pentru prelucrarea unei piese cu un complet de scule simultan.

Cheltuielile C_{2_i} din relația generală (4.3.102) efectuate cu înlocuirea cuțitelor uzate cu cuțite reascuțite, cu reascuțirea și reglarea lor la dimensiune, precum și cota parte din costul cuțitelor raportate la o piesă prelucrată într-o operație, se calculează cu relația:

$$C_{2_i} = \tau_{as_i} C_3 + \tau_{tr_i} C_1 + \frac{C_{c_i}}{N_{r_{P_i}}}, \qquad (4.3.104)$$

în care: τ_{as_i} reprezintă timpul de lucru pe bucată consumat cu ascuțirea cuțitelor uzate, în min/buc; C_3 — cheltuielile făcute cu retribuția muncitorului ascuțitor, plus cota parte din regia secției și amortismentul mașinii de ascuțit, în lei/min; τ_{tr_i} — timpul pentru înlocuirea și reglarea la cotă a cuțitului i reascuțit, în min; C_{c_i} — costul cuțitului i, în lei; $N_{r_{P_i}}$ — numărul posibil de reascuțiri ale cuțitului i până la scoaterea lui din uz, a cărui mărime este:

$$N_{r_{P_i}} = \frac{l_{pr_i}}{u_{a_i}}, \qquad (4.3.105)$$

în care: l_{pr_i} reprezintă lungimea părții care se poate reascuți din cuțitul i; u_{a_i} — uzura admisibilă a muchiei așchietoare a cuțitului i egală cu grosimea stratului de metal îndepărtat în timpul reascuțirii.

Relația de calcul a cheltuielilor exprimate prin coeficientul C_{2_i} pentru un număr de i scule în completul de scule, particularizată pentru exemplul ales, devine, pentru fiecare din cele trei cuțite:

$$C_{2_1} = \tau_{as_1} C_3 + \tau_{sr_1} C_1 + \frac{C_{c_1}}{l_{pr_1}} u_{a_1};$$

$$C_{2_2} = \tau_{as_2} C_3 + \tau_{sr_2} C_1 + \frac{C_{c_2}}{l_{pr_2}} u_{a_2};$$

$$C_{2_3} = \tau_{as_3} C_3 + \tau_{sr_3} C_1 + \frac{C_{c_3}}{l_{pr_3}} u_{a_3}. \qquad (4.3.106)$$

Scanned with OKEN Scanner

Numărul n_{ar_i} de ascuțiri și reglări a unui cuțit i din completul de cuțite în decursul prelucrării unei piese într-o operație, așa cum s-a arătat în paragraful 4.3.2, este:

$$n_{ar_i} = \frac{\tau_{bm_i}}{T_i} = \frac{1}{N_{P_i}^{2r}}, \tag{4.3.107}$$

iar numărul de piese prelucrate $N_{P_i}^{2r}$ între două reascuțiri ale cuțitului, se determină funcție de uzura admisibilă a muchiei așchietoare

$$u_{a_i} = u_{i_i} + u_{0_i} \frac{\pi d_i l_i}{10^6 s} N_{P_i}^{2r}, \tag{4.3.108}$$

de unde rezultă:

$$N_{P_i}^{2r} = \frac{(u_{a_i} - u_{i_i})\, 10^6 s}{u_{0_i} d_i l_i}. \tag{4.3.109}$$

Introducînd relația (4.3.109) în (4.3.107) se obține expresia analitică generală de calcul a numărului n_{ar_i}:

$$n_{ar_i} = \frac{u_{0_i}}{(u_{a_i} - u_{i_i})} \cdot \frac{\pi d_i l_i}{10^6 s}. \tag{4.3.110}$$

Din relația generală (4.3.107) particularizată pentru cazul concret studiat, se obțin următoarele relații de calcul pentru fiecare din cele trei cuțite:

$$n_{ar_1} = \frac{u_{0_1}}{(u_{a_1} - u_{i_1})} \cdot \frac{\pi d_1 l_1}{10^6 s};$$

$$n_{ar_2} = \frac{u_{0_2}}{(U_{a_2} - u_{i_2})} \cdot \frac{\pi d_2 l_2}{10^6 s};$$

$$n_{ar_3} = \frac{u_{0_3}}{(u_{a_3} - u_{i_3})} \cdot \frac{\pi d_3 l_3}{10^6 s}, \tag{4.3.111}$$

sau

$$n_{ar_1} = \frac{K_1}{s}; \quad n_{ar_2} = \frac{K_2}{s}; \quad n_{ar_3} = \frac{K_3}{s}, \tag{4.3.112}$$

dacă se notează:

$$\frac{u_{0_1}}{(u_{a_1} - u_{i1})} \cdot \frac{\pi d_1 l_1}{10^6} = K_1;$$

$$\frac{u_{0_2}}{(u_{a_2} - u_{i_2})} \cdot \frac{\pi d_2 l_2}{10^6} = K_2;$$

$$\frac{u_{0_3}}{(u_{a_3} - u_{i_3})} \cdot \frac{\pi d_3 l_3}{10^6} = K_3. \tag{4.3.112'}$$

Avînd relațiile de calcul ale fiecărui termen din relația (4.3.103), aceasta se poate scrie ca fiind:

$$C_I = \frac{l_{max(1,2,3)} a_b}{nst} C_1 + \frac{1}{s}(C_{2_1} K_1 + C_{2_2} K_2 + C_{2_3} K_3). \tag{4.3.113}$$

Scanned with OKEN Scanner

Varianta a II-a. Costul prelucrării unei piese la o operație, la lucrul după această variantă, se exprimă prin următoarea relație generală:

$$C_{II} = \tau_{bm} C_1 + C_2 n_{ar}. \tag{4.3.114}$$

Cheltuielile C_2 se calculează cu următoarea relație generală:

$$C_2 = \sum_{i=1}^{n} \tau_{as_i} C_3 + \sum_{i=1}^{n} \tau_{ir_i} C_1 + \sum_{i=1}^{n} \frac{C_{c_i}}{N_{r_i}}. \tag{4.3.114'}$$

Particularizată pentru exemplul studiat, relația (4.3.114) se scrie sub forma:

$$C_2 = (\tau_{as_1} + \tau_{as_2} + \tau_{as_3}) C_3 + (\tau_{ir_1} + \tau_{ir_2} + \tau_{ir_3}) C_1 + \frac{C_{c_1}}{N_{r_1}} + \frac{C_{c_2}}{N_{r_2}} + \frac{C_{c_3}}{N_{r_3}} \tag{4.3.115}$$

Numărul de înlocuiri simultane ale tuturor sculelor uzate, cu scule reascuțite este impus de prima sculă la care uzura a ajuns la valoarea admisibilă (u_a), adică:

$$n_{ar} = \max (n_{ar_i}) \tag{4.3.115'}$$

sau, particularizat:

$$n_{ar} = \max (n_{ar_1}, n_{ar_2}, n_{ar_3}). \tag{4.3.116}$$

Dacă în relație se introduc relațiile (4.3.111') se obține:

$$n_{ar} = \max \frac{1}{s} \left[\frac{u_{0_1}}{(u_{a_1} - u_{i_1})} \cdot \frac{\pi d_1 l_1}{10^6}; \frac{u_{0_2}}{(u_{a_2} - u_{i_2})} \cdot \frac{\pi d_2 l_2}{10^6}; \frac{u_{0_3}}{(u_{a_3} - u_{i_3})} \cdot \frac{\pi d_3 l_3}{10^6} \right]. \tag{4.3.117}$$

Întrucît atît uzura relativă (u_0) cît și cea inițială (u_i), pentru fiecare cuțit din complet are aceeași valoare, relația (4.3.117) după simplificările necesare devine:

$$n_{ar} = \max \frac{1}{s} \left[\frac{d_1 l_1}{u_{a_1} - u_{i_1}}; \frac{d_2 l_2}{u_{a_2} - u_{i_2}}; \frac{d_3 l_3}{u_{a_3} - u_{i_3}} \right]. \tag{4.3.118}$$

Din relația (4.3.118) se observă că numărul de înlocuiri simultane ale tuturor sculelor uzate cu scule reascuțite este impus de scula, respectiv de cuțitul, care așchiază suprafața cu dimensiunile cele mai mari (d_{max} și l_{max}).

Întrucît întreg completul de scule se înlocuiește simultan cu unul cu scule reascuțite, în momentul în care una din scule și-a epuizat proprietățile așchietoare (a atins $u_{a\,max}$), toate celelalte scule au o uzură mai mică și necesită un timp mai mic pentru reascuțire (τ'_{as_j}).

Deci, τ_{as_i} se reduce la τ'_{as_j} ($j = 1, 2, \ldots, m$; $m = n - 1$, n fiind numărul total de scule din completul de scule, iar m — numărul de scule care se înlocuiesc înainte ca ele să fi atins uzura maximă admisibilă). Uzura acestor cuțite are o valoare oarecare $u_j < u_{a_i}$.

Scanned with OKEN Scanner

Mărimea timpului de reascuțire a cuțitului cu uzura maximă admisibilă u_{a_i} și a cuțitelor cu uzura oarecare u_j este direct proporțională cu mărimea uzurii, adică:

$$\left.\begin{aligned} &\tau_{as_i} \text{ este direct proporțională cu } u_{a_i},\\ \text{iar}\quad &\tau'_{as_j} \text{ este direct proporțională cu } u_j. \end{aligned}\right\} \tag{4.3.119}$$

Din relația (4.3.119) rezultă:

$$\tau'_{as_j} = \frac{u_j}{u_{a_i}}\,\tau_{as_i}. \tag{4.3.120}$$

Valoarea uzurii cuțitelor j se determină cu următoarea relație (similară cu (4.3.108):

$$u_j = u_{i_j} + u_{0_j}\frac{\pi d_j l_j}{10^6 s} N_{P_j}^{2r}, \tag{4.3.121}$$

în care: d_j, l_j reprezintă diametrul și lungimea suprafeței așchiată cu cuțitul j; $N_{P_j}^{2r}$ — numărul de piese prelucrate cu cuțitul j între două reascuțiri ale acestuia ($N_{P_j}^{2r} = N_{P_i}^{2r}$, deoarece toate cuțitele se înlocuiesc simultan).

Dacă se introduce relația (4.3.121) în (4.3.120) se obține:

$$\tau'_{as_j} = \frac{u_{i_j} + u_{0_j}\dfrac{\pi d_j l_j}{10^6 s} N_{P_j}^{2r}}{u_{i_i} + u_{0_i}\dfrac{\pi d_i l_i}{10^6 s} N_{P_i}^{2r}}\,\tau_{as_i}. \tag{4.3.122}$$

Notînd:

$$u_{i_j} + u_{0_j}\frac{\pi}{10^6} = \frac{\alpha}{s}; \qquad u_{i_i} + u_{0_i}\frac{\pi}{10^6} = \frac{\beta}{s}, \tag{4.3.123}$$

relația (4.3.122) devine:

$$\tau'_{as_j} = \frac{d_j l_j}{d_i l_i}\cdot\frac{\alpha}{\beta}\,\tau_{as_i} \tag{4.3.124}$$

La reascuțirea sculelor cu uzura u_j se îndepărtează un strat mai subțire de metal decît cel de pe scula care a impus înlocuirea completului de scule (cea care a atins uzura maximă admisibilă u_a) și deci, numărul de reascuțiri posibile ale sculelor respective este mai mare, pînă la scoaterea lor completă din uz, fiind exprimat de relația:

$$N_{rp_j} = \frac{l_{r_j}}{u_j}, \tag{4.3.125}$$

în care: l_{r_j} reprezintă lungimea din partea activă a sculei j, care poate fi reascuțită ($j = 1, 2, \ldots, m$).

Determinați fiind toți termenii care intră în componența relației generale a costului prelucrării unei piese la o operație (4.3.114) aceasta capătă următoarea formă:

$$C_{II} = \frac{l_{i_{max}} a_b}{nst} C_1 + C_2\frac{1}{s}\frac{d_{i_{max}} l_{i_{max}}}{u_{a_i} - u_{i_i}}, \tag{4.3.126}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: $d_{i_{max}}$, $l_{i_{max}}$ reprezintă dimensiunile maxime ale acelei trepte a arborelui prelucrate cu cuțitul i care atinge primul uzura maximă și impune înlocuirea simultană a tuturor cuțitelor din completul de cuțite.

Relația explicită de calcul a cheltuielilor efectuate cu reascuțirea cuțitelor și reglarea lor la dimensiune, precum și cota parte din costul cuțitelor, toate raportate la o piesă prelucrată într-o operație, este:

$$C_2 = \left[\left(\tau_{as_i} + \sum_{j=1}^{n} \tau_{as_j}\right) C_3 + \sum_{i=1}^{n} \tau_{ir_i} C_1 + \frac{C_{s_i}}{l_{r_i}} u_{a_i} + \sum_{j=1}^{m} \frac{C_{sj}}{l_{rj}} u_j\right] \frac{1}{s} \cdot \frac{d_{i_{max}} \cdot l_{i_{max}}}{u_{a_i} - u_{i_i}}, \tag{4.3.127}$$

în care: τ_{as_i} reprezintă timpul consumat cu reascuțirea primului cuțit i la care uzura a ajuns la valoarea maximă admisibilă u_{a_i} și a impus înlocuirea simultană a tuturor cuțitelor, ; m — numărul cuțitelor j a căror uzură este oarecare, mai mică decît u_{a_i}; $j = 1, 2, \ldots, m$; l_{r_i} și l_{rj} lungimea din cuțitul i (cel la care uzura a ajuns la valoarea maximă admisibilă) și cuțitele j care pot fi reascuțite; u_j — uzura cu o valoare oarecare a cuțitelor j.

Varianta a III-a. Timpul consumat cu înlocuirea sculelor uzate cu scule reascuțite și reglarea lor la dimensiune în varianta a II-a și această a III-a variantă poate fi considerat ca fiind egal, însă, datorită faptului că după varianta a III-a înlocuirea și reglarea la dimensiune se face în afara mașinii-unelte, într-un dispozitiv special, acest timp este egal doar cu timpul de întrerupere a lucrului pe mașina-unealtă respectivă.

Timpul de întrerupere a lucrului, respectiv de oprire a mașinii-unelte, la lucrul după varianta a III-a este egal numai cu timpul scurt în care se face înlocuirea suportului portscule, cu un alt suport portscule similar, în care sculele au fost reglate la dimensiune în dispozitivul special amintit, într-un loc amenajat corespunzător, de către o persoană specializată. Dacă acest lucru îl face muncitorul care lucrează la mașina-unealtă respectivă, în timpul în care mașina „lucrează", atunci timpul neproductiv, τ_{ir}, consumat cu înlocuirea și reglarea la dimensiune a sculelor, se suprapune peste timpul de bază de mașină τ_{bm} și el ca atare nu se include în norma tehnică de timp, τ_{buc}. În acest caz, cheltuielile făcute cu prelucrarea unei piese la o operație se micșorează corespunzător.

În cazul în care înlocuirea și reglarea la dimensiune a sculelor se face de către o persoană specializată, costul prelucrării unei piese la o operație crește cu cheltuielile efectuate cu acest lucru, notate cu C_{pr}^{Ps}. La aceste cheltuieli se mai adaugă cheltuielile efectuate cu proiectarea și realizarea dispozitivului sau a instalației de prereglare a sculelor reascuțite notate cu C_d, cheltuieli raportate la o piesă prelucrată într-o operație, egale cu: $n_{ar} = \frac{C_d}{N_{pr}}$, N_{pr}, reprezentînd numărul de prereglări posibile de efectuat cu dispozitivul sau instalația respectivă, pînă la scoaterea ei din uz.

Deci, cheltuielile totale efectuate cu înlocuirea și reglarea sculelor la dimensiune în afara mașinii-unelte, raportate la o piesă prelucrată într-o operație, notate cu C_i^{Pr} sînt:

$$C_i^{Pr} = n_{ar}\left(\tau_{ir} C_4 + \frac{C_d}{N_{pr}}\right), \tag{4.3.128}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: n_{ar} reprezintă numărul de înlocuiri a sculelor uzate și reglări la dimensiune a sculelor reascuțite, în decursul prelucrării unei piese la o operație; C_4 — retribuția persoanei care efectuează prereglarea în afara mașinii-unelte în lei/min.

Ținînd seama de aceste cheltuieli suplimentare care se fac în plus față de cele din varianta a II-a, relația funcției de optimizare este:

$$C_{III} = \frac{l_{max} a_b}{nst} C_1 + \left[C_2 + \tau_{tr} C_4 + \frac{C_d}{N_{pr}} \right] \frac{1}{s} \frac{d_{imax} l_{imax}}{u_{a_i} - u_i}, \qquad (4.3.129)$$

în care: C_2 are același conținut ca cel exprimat prin relația (4.3.127), la care se mai adaugă C_i^{Pr} din relația (4.3.128), devenind:

$$C_2 = \left[\left(\tau_{as_i} + \sum_{j=1}^{m} \tau_{as_j} \right) C_3 + \sum_{i=1}^{n} \tau_{tr} C_1 + \frac{C_{c_i}}{l_{r_i}} u_{a_i} + \sum_{j=1}^{m} \frac{C_{cj}}{l_{rj}} u_j + \tau_{tr} C_4 + \right.$$

$$\left. + \frac{C_d}{N_{pr}} \right] \frac{1}{s} \frac{d_{imax} l_{imax}}{u_{a_i} - u_{i_i}}. \qquad (4.3.130)$$

Determinarea relațiilor analitice ale funcțiilor restrictive (ritmul liniei tehnologice, puterea mașinii-unelte, încărcarea maximă a mecanismului de avans, rezistența sculei, stabilitatea termică a sculei în zona de așchiere, calitatea suprafeței prelucrate, cinematica mașinii-unelte).

a — Ritmul liniei tehnologice. Pentru desfășurarea procesului tehnologic în bune condiții, se impune:

$$\tau_{buc} \leqslant R_l \cdot Q_m \cdot K_i.$$

Dacă se are în vedere că $\tau_{buc} = \tau_{bm} + \tau_1$, unde cu τ_1 s-a notat suma tuturor componentelor timpului de lucru pe bucată în afară de τ_{bm} și ținînd seama de relația:

$$\tau_{bm} = \frac{l_{max(1,2,3)}}{n \cdot s} \cdot i,$$

expresia funcției restrictive căutate este:

$$n \cdot s \geqslant \frac{l_{max(1,2,3)}}{R_l \cdot Q_m \cdot K_i - \tau_1}, \qquad (4.3.131)$$

unde: R_l este ritmul liniei tehnologice, în min; Q_m — numărul de mașini-unelte pe care se execută operația respectivă; K_i — coeficientul de încărcare a mașinilor-unelte.

b — Puterea mașinii-unelte. Condiția posibilității de efectuare a așchierii pe mașina-unealtă al cărui randament al lanțului cinematic se poate scrie astfel:

$$P_e \leqslant \eta \cdot P_m,$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: P_m reprezintă puterea motorului electric al mașinii-unelte, în kW, iar P_e — puterea efectivă necesară efectuării așchierii, în kW, exprimată prin relația:

$$P_e = \frac{F_z \cdot V}{6120}.$$

Ținînd cont și de relația:

$$F_z = C_{F_z} \cdot t^{X_{F_z}} \cdot s^{Y_{F_z}}, \qquad (4.3.131')$$

condiția restrictivă devine:

$$n \cdot s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{6{,}12 \cdot 10^6 \cdot \eta \cdot P_m \cdot i^{X_{F_z}}}{C_{F_z} \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^{3} d_j \cdot a_{bj}^{X_{F_z}}}. \qquad (4.3.132)$$

c — Încărcarea maximă a mecanismului de avans. Forța totală care acționează după direcția axială și care solicită mecanismul de avans al saniei longitudinale sau cel al arborelui principal al mașinii-unelte (cînd aceasta execută mișcarea de avans), este dată de relația:

$$F_t = F_x + (F_z + F_y)\,\mu, [\mathrm{N}]. \qquad (4.3.133)$$

Dacă se ia $\mu = 0{,}1$; $F_y = 0{,}4\ F_z$ și $F_x = 0{,}2\ F_z$, relația (4.3.133) devine:

$$F_t = 0{,}34\ F_z.$$

Condiția care se impune este ca F_t să fie mai mică, la limită egală, decît forța maxim admisă de mecanismul de avans al mașinii $F_{maș}$. Deci:

$$F_t \leqslant F_{maș},$$

sau, ținînd seama de (4.3.131') rezultă:

$$s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{F_{maș} \cdot t^{X_{F_z}}}{0{,}34\ C_{F_z} \sum_{j=1}^{3} a_{b,j}^{X_{F_t}}}. \qquad (4.3.134)$$

d — Rezistența sculei. Cuțitul este solicitat în timpul așchierii la încovoiere de componenta principală F_z a forței de așchiere. Condiția de rezistență care se impune este:

$$\frac{M_i}{W_z} \leqslant \sigma_a, \qquad (4.3.135)$$

în care momentul încovoietor M_i este dat de relația:

$$M_i = F_z \cdot h,$$

iar modulul de rezistență pentru o secțiune dreptunghiulară a cuțitului cu înălțimea h și lățimea b, în mm, este dat de relația:

$$W_z = \frac{b \cdot h^2}{6}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Ținînd seama și de relația (4.3.131'), condiția (4.3.135) devine:

$$s^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{b_j \cdot h_j^2 \cdot \sigma_a \cdot i^{X_{F_z}}}{6C_{F_z} \cdot a_{bj}^{X_{F_z}}}, \tag{4.3.136}$$

unde σ_a este rezistența admisibilă la încovoiere a materialului sculei, în MPa.

e — Stabilitatea termică a sculei în zona de așchiere. Temperatura dezvoltată la tăișul sculelor în timpul procesului de așchiere nu trebuie să depășească o temperatură maxim admisă θ_a peste care tăișul își pierde rezistența la uzură. Condiția restrictivă se poate exprima prin expresia:

$$n^{X_\theta} \cdot s^{Z_\theta} \leqslant \frac{\theta_a \cdot i^{Y_\theta}}{C_\theta \cdot a_b^{Y_\theta}}. \tag{4.3.137}$$

f — Calitatea suprafeței prelucrate. Înălțimea urmelor lăsate de sculă pe suprafața prelucrată depinde în mare măsură de mărimea avansului de lucru, de mărimea unghiurilor de atac $\varkappa$ și $\varkappa_1$, de raza la vîrful cuțitului și într-o măsură mai mică de adîncimea de așchiere t. Evident, înălțimea acestor microasperități trebuie să fie mai mică, la limită egală, decît cea impusă pe desenul de execuție.

În funcție de elementele menționate, expresia acestei condiții este:

$$s \leqslant \frac{C_r \cdot R_{zj}^{Y_r} \cdot r_j^{q_r} \cdot i^{X_r}}{\varkappa_j^{Z_r} \cdot \varkappa_{1j}^{Z_r} \cdot a_{bj}^{X_r}}. \tag{4.3.138}$$

g — Cinematica mașinii-unelte. Turația arborelui principal și avansul de lucru trebuie să fie cuprinse între valorile limită realizabile pe mașina respectivă. Deci se impun condițiile:

$$n_{min} \leqslant n \leqslant n_{max}; \tag{4.3.139}$$

$$s_{min} \leqslant s \leqslant s_{max}.$$

Alcătuirea modelului matematic al problemei puse. Modelul matematic pentru calculul regimului optim de așchiere la strunjirea arborilor, utilizînd mai multe scule simultan, este alcătuit din cele trei funcții de optimizare de la una din variantele *I*, *II* sau *III* de schimbare a sculelor și sistemul de restricții determinate mai sus.

Dacă considerăm varianta *I* de schimbare a sculelor, formularea matematică a problemei este următoarea: să se determine parametrii regimului de așchiere n, s care fac ca valorile funcțiilor obiectiv să tindă către minim.

$$C_I = \frac{l_{max(1,2,3)} a_b}{n \cdot s \cdot t} C_1 + \frac{1}{s}\left(C_{2_1} K_1 + C_{2_2} K_2 + C_{2_3} K_3\right) \rightarrow minim$$

Scanned with OKEN Scanner

în condițiile:

$$
\left.
\begin{aligned}
& n \cdot S \geqslant \frac{l_{max(1,2,3)}}{R_l \cdot Q_m \cdot K_l - \tau_1}; \\
& n \cdot S^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{6{,}12 \cdot 10^6 \cdot \eta \cdot P_m \cdot i^{X_{F_z}}}{C_{F_z} \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^{3} d_j \cdot a_{bj}^{X_{F_z}}}; \\
& S^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{F_{maș}}{0{,}34 \cdot C_{F_z} \cdot \sum_{j=1}^{3} a_{bj}^{X_{F_z}}}; \\
& S^{Y_{F_z}} \leqslant \frac{b_j \cdot h_j^2 \cdot \sigma_a \cdot i^{X_{F_z}}}{6 \cdot C_{F_z} \cdot a_{bj}^{X_{F_z}}}; \\
& n^{X_\theta} \cdot S^{Z_\theta} \leqslant \frac{\theta_a \cdot i^{Y_\theta}}{C_\theta \cdot a_{b_j}^{Y_\theta}}; \\
& S \leqslant \frac{C_r \cdot R_{Z_j}^{Y_r} \cdot r_j^{q_r} \cdot i^{X_r}}{\varkappa_j^{Z_r} \cdot \varkappa_{1j}^{Z_r} \cdot a_{b_j}^{X_r}}; \\
& n \leqslant n_{max}; \\
& n \geqslant n_{min}; \\
& S \leqslant S_{max}; \\
& S \geqslant S_{min};
\end{aligned}
\right\}
$$

la care se adaugă și condițiile de nenegativitate a variabilelor $n \geqslant 0$; $S \geqslant 0$.

Modelul matematic prezentat mai sus poate fi utilizat la strunjirea suprafețelor de revoluție exterioare. În cazul pieselor cu rigiditate scăzută se produce o deformație de încovoiere a acestora egală cu săgeata dinamică f_d. Condiția care se impune în acest caz este: săgeata f_d trebuie să fie mai mică, la limită egală, decît săgeata admisibilă f_a care este funcție de precizia dimensională a suprafeței care se prelucrează, adică:

$$f_d \leqslant f_a,$$

unde $f_d = f_s \cdot \mu$, μ fiind un coeficient dinamic care se poate determina experimental, iar f_s — săgeata statică funcție de modul de instalare a piesei pe mașină.

Scanned with OKEN Scanner

4.3.4. CALCULUL REGIMULUI OPTIM DE AȘCHIERE LA BURGHIEREA CU CAP MULTIAX

În lucrările [75] și [78] pentru ușurarea rezolvării modelului matematic de calcul a parametrilor regimului optim de așchiere la burghierea cu cap multiax s-au făcut diverse artificii de calcul pentru a se ajunge la un program liniar, căruia să i se poată aplica algoritmul Simplex sau metoda grafică de rezolvare. În acest scop s-au introdus substituții logaritmice, iar pentru a scădea numărul necunoscutelor modelului matematic la două (pentru a putea fi rezolvat grafic în plan) s-a admis că sînt îndeplinite condiții suplimentare, ca de exemplu: schimbarea simultană a sculelor din completul de scule, considerînd că sculele își pierd capacitatea de așchiere în același timp. Matematic, această condiție s-a exprimat prin relații de forma:

$$\frac{T_1}{l_1} = \frac{T_2}{l_2} = \frac{T_n}{l_n}, \tag{4.3.140}$$

în care: T_1, T_2, ..., T_n sînt durabilitățile burghielor de tip 1, 2, ..., n: l_1, l_2, ..., l_n — lungimile găurilor corespunzătoare burghielor de tip 1, 2, ..., n.

Impunînd aceste relații, optimizarea este îngrădită, deoarece se introduc condiții de optimizare externă, care limitează domeniul valorilor parametrilor regimului de așchiere, în favoarea unor facilități de calcul.

În metoda care se prezintă în cele ce urmează se determină algoritmul de calcul pentru rezolvarea grafică, analitică sau grafoanalitică a modelului matematic al parametrilor regimului optim de așchiere folosind substituții nelogaritmice la un cap multiax de găurit, cu două tipuri de burghie (metoda poate fi generalizată pentru n tipuri de burghie).

Funcția de optimizare pentru cazul folosirii a două tipuri de burghie are forma:

$$C = C_1\tau_{l_{max}} + C_{21}N_1\frac{\tau_{l_1}}{T_1} + C_{22}N_2\frac{\tau_{l_2}}{T_2}, \tag{4.3.141}$$

în care: C_1 este retribuția muncitorului care lucrează la mașina de găurit, în lei/min; C_{21}, C_{22} — cheltuielile făcute cu schimbarea și reascuțirea burghielor uzate de tip 1, respectiv 2; $\tau_{l_{max}}$ — timpul de lucru în care capul de găurit multiax parcurge spațiul l_{max} cu avans de lucru, în min; N_1, N_2 — numărul de burghie de tip 1, respectiv 2; τ_{l_1}, τ_{l_2} — timpii de lucru pentru așchierea găurilor cu lungimile l_1 respectiv l_2, în min.

Ținînd seama de timpul de bază de mașină:

$$\tau_{bm} = \frac{l}{v_s}, \tag{4.3.142}$$

unde: l este lungimea parcursă de scule așchietoare; v_s — viteza de avans, relația (4.3.141) devine:

$$C = \frac{C_1 l_{max}}{v_s} + \frac{N_1 C_{21} l_1}{v_s T_1} + \frac{N_2 C_{22} l_2}{v_s T_2}. \tag{4.3.143}$$

Introducînd substituțiile:

$$v_s = \frac{10^2}{X_1}; \quad v_s T_1 = \frac{10^5}{X_2}; \quad v_s T_2 = \frac{10^5}{X_3}, \tag{4.3.144}$$

Scanned with OKEN Scanner

coeficienții numerici măresc precizia de calcul, funcția de optimizare se aduce la forma ecuației unui plan, iar problema de optimizare se reduce la determinarea punctului cu distanță minimă față de origine, determinat de intersecția funcției obiectiv cu poligonul restricțiilor.

$$C = C_1 l_{max} \frac{X_1}{10^2} + \frac{N_1 C_{21} l_1 X_2}{10^5} + \frac{N_1 C_{22} l_2 X_3}{10^5}. \tag{4.3.145}$$

Cu notațiile:

$$K_1 = C_1 l_{max} \cdot \frac{1}{10^2};$$

$$K_2 = N_1 C_{21} l_1 \frac{1}{10^5}; \tag{4.3.146}$$

$$K_3 = N_2 C_{23} l_2 \frac{1}{10^5},$$

relația (4.3.145) devine:

$$C = K_1 X_1 + K_2 X_2 + K_3 X_3. \tag{4.3.147}$$

Deoarece viteza de avans a fiecărui burghiu din capul multiax este aceeași, se poate scrie:

$$v_s = n_1 s_1 = n_2 s_2 = n_3 s_3 = \ldots = n_i s_i. \tag{4.3.148}$$

Din relația (4.3.144) rezultă:

$$v_s = \frac{10^2}{X_1}; \quad T_1 = 10^3 \frac{X_1}{X_2}; \quad T_2 = 10^3 \frac{X_1}{X_3}. \tag{4.3.149}$$

Ținînd seama de relațiile vitezei de așchiere se poate scrie:

$$\frac{\pi \cdot d_i n_i}{1000} = \frac{C_v d_i^{x_v}}{T_i^m s_i^{y_v}}; \; i = 1, 2, \tag{4.3.150}$$

sau

$$T_i^m s_i^{y_v} n_i = \frac{1000\, C_v}{\pi d_i^{1-x_v}}, \tag{4.3.151}$$

Cu $s_i = \frac{v_s}{n_i}$ din relația (4.3.148) și ținînd seama de relațiile (4.3.149), relația (4.3.150) devine:

$$\left(\frac{10^3 X_1}{X_{i+1}}\right)^m \cdot \left(\frac{10^2}{X_1 n_i}\right)^{y_v} n_i = \frac{1000\, C_v}{\pi\, d_i^{1-x_v}}. \tag{4.3.152}$$

După efectuarea calculelor rezultă:

$$n_i = \left(\frac{10^{3(1-m)-2y_v} C_v}{\pi d_i^{1-x_v}} \cdot \frac{X_{i+1}^m}{X_1^{m-y_v}}\right)^{\frac{1}{1-y_v}}. \tag{4.3.153}$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru $i = 1$, rezultă:

$$n_1 = \left(\frac{10^{3(1-m)-2\cdot y_v} C_v}{\pi d_1^{1-x_v}} \cdot \frac{X_2^m}{X_1^{m-y_v}}\right)^{\frac{1}{1-y_v}} = A_1 x_1^p x_2^q. \tag{4.3.154}$$

Pentru $i = 2$, rezultă:

$$n_2 = \left(\frac{10^{3(1-m)-2y_v} \cdot C_v}{\pi d_2^{1-x_v}} \cdot \frac{X_3^m}{X_1^{m-y_v}}\right)^{\frac{1}{1-y_v}} = A_2 x_1^p x_3^q. \tag{4.3.155}$$

Din relațiile (4.3.148) și (4.3.149) se poate scrie:

$\frac{10^2}{X_1} = n_1 s_1 = n_2 s_2$, din care, folosind relațiile (4.3.154) și (4.3.155), rezultă relațiile care exprimă valorile avansurilor celor două burghie:

$$s_1 = \frac{10^2}{X_1 n_1} = \frac{10^2}{x_1 A_1 X_1^p X_2^q} = B_1 X_1^{-(p+1)} X_2^{-q}; \tag{4.3.156}$$

$$S_2 = \frac{10^2}{X_1 n_2} = \frac{10^2}{X_1 A_2 X_1^p X_3^q} = B_2 X_1^{-(p+1)X_3^{-q}} \tag{4.3.157}$$

Determinarea funcțiilor restrictive. Relațiile restrictive se determină asemănător cu cele din § 4.3.2.2.

Ritmul liniei tehnologice:

$$n_i s_i \geqslant \frac{l_{max}}{R_l Q_m K_i - \tau_a}. \tag{4.3.158}$$

Puterea maximă admisibilă a mașinii:

$$\sum_{i=1}^{2} N_i d_i^{x_M} n_i s_i^{y_M} \leqslant \frac{9{,}75 \cdot 10^8 \eta P}{C_m}. \tag{4.3.159}$$

Rezistența mecanică a burghielor:

$$s_i^{y_M} \leqslant \frac{\sigma_a W_{pi}}{1{,}73\, C_M d_i^{x_M}}. \tag{4.3.160}$$

Încărcarea maxim admisibilă a mecanismului de avans:

$$\sum_{i=1}^{2} N_i d_i^{x_F} s_i^{y_F} \leqslant \frac{F_a}{C_F}. \tag{4.3.161}$$

Rezistența la flambaj a burghielor:

$$s_i^{y_F} \leqslant \frac{\pi^2 E_i I_{min\ i}}{c_1 C_F L_a^2 d_i^{x_F}}. \tag{4.3.162}$$

Evitarea depunerilor de materiale pe tăișul burghielor:

$$n_i \geqslant \frac{1{,}8 \cdot 10^4}{\pi d_i}. \tag{4.3.163}$$

Scanned with OKEN Scanner

Evitarea supraîncălzirii burghielor:

$$v_i^{x_0} s_i^{z} \leqslant \frac{\theta_a}{C_0 d_i^{y_0}}. \tag{4.3.164}$$

În relațiile (4.3.159) ÷ (4.3.164) s-au notat: d_i — diametrul burghiului; N_i — numărul de burghie de același fel; $I_{min\,i}$ și W_{pi} — momentul de inerție minim și momentul de rezistență ale burghiului; C_M, C_F, C_1, C_0 — coeficienți [105]. Restricțiile introduse de cinematica mașinii-unelte nu se iau în considerare întrucît acestea influențează prin rapoartele de transmitere de la axul mașinii la axele portsculă. După determinarea valorilor optime ale parametrilor regimului de așchiere, acestea se încadrează în gamele de turații și avansuri ale mașinii-unelte alese.

Întocmirea modelului matematic. Formularea matematică a problemei determinării parametrilor regimului optim de așchiere la burghierea cu cap multiax este următoarea: să se determine valorile parametrilor regimului optim de așchiere n_1, n_2, s_1, s_2 care fac minimă funcția:

$$C = K_1 X_1 + K_2 X_2 + K_3 X_3 \to \min. \tag{4.3.165}$$

În condițiile:

$$\begin{gathered}
n_i s_i \geqslant \frac{l_{max}}{R_l Q_m K_l - \tau_a}; \\
\sum_{i=1}^{2} N_i d_i^{x_M} n_i s_i^{y_M} \leqslant \frac{9{,}75 \cdot 10^8 \eta_i P}{C_m}; \\
s_i^{y_M} \leqslant \frac{\sigma_r W_p}{1{,}73\, c_1 C_M d_i^{x_M}}; \\
\sum_{i=1}^{2} N_i d_i^{x_F} s_i^{y_F} \leqslant \frac{F_a}{C_F}; \\
s_i^{y_F} \leqslant \frac{\pi^2 E I_{min}}{c_1 C_F L_i^2 d_i^{x_F}}; \\
n_i \geqslant \frac{1{,}8 \cdot 10^4}{\pi d_i}; \\
v_i^{x_0} s_i^{z_0} \leqslant \frac{\theta_a}{C_0 d_i^{y}}.
\end{gathered} \tag{4.3.166}$$

Rezolvarea modelului matematic. Modul de rezolvare a modelului matematic se prezintă în cadrul exemplului ce urmează.

Exemplu. Să se calculeze valorile parametrilor regimului de așchiere la burghierea cu cap multiax a piesei din figura 4.3.15 executată din OL 45, cu burghie din oțel Rp 3. Burghierea se execută pe o mașină de găurit tip G 40. Planul anual de piese este de 200 000 buc. Lucrul se desfășoară în două schimburi. Date cunoscute: $d_1 = 11$ mm; $l_1 = l_2 = l = 27$ mm; $d_2 = 20$ mm; numărul de burghie $N_1 = N_2 = N = 2$; lungimea conului de ascuțire al burghiului $l_c = 1{,}5$ mm; lungimile porțiunii cu canale a burghiului $l_{01} = 100$ mm și $l_{02} = 140$ mm; $i = 1, 2,$; retribuția muncitorului de la mașini

Scanned with OKEN Scanner

de găurit cu cap multiax $C_1 = 0{,}1$ lei/min; costul reascuțirii și înlocuirii burghielor (ținînd seama de dimensiunile constructive ale burghielor) $C_{21} = 0{,}510$ lei/min, iar $C_{22} = 0{,}522$ lei/min.

Spațiul parcurs de capul multiax cu avans de lucru $l_{max} = l + 2l_c = 27 + 2.1{,}5 = 30$ mm.

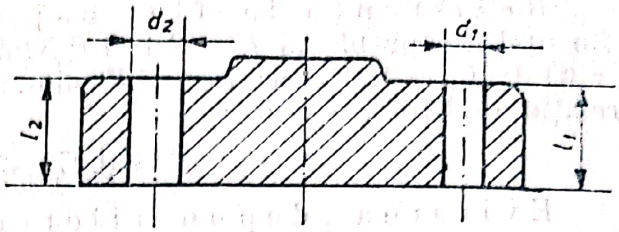


Fig. 4.3.15. Desenul piesei.

Cu datele problemei, funcția de optimizare (4.3.145), după efectuarea calculelor și ținînd seama de relația (4.3.165) devine:

$$C = \frac{3}{n_1 s_1} + \frac{0{,}158}{10^{10}} n_1^4 s_1^{2{,}5}.$$

Calculul restricțiilor. Ritmul liniei tehnologice. Fondul real de timp pentru două schimburi de lucru este $F_r = 2{,}8 \cdot 10^5$ min, iar planul anual de piese $P_a = 200\,000$ buc, rezultînd:

$$R_l = \frac{F_r}{P_a} = \frac{2{,}8 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^5} = 1{,}4 \text{ min}.$$

Admițînd: $K_l = 0{,}85$; $Q_m = 1$; $\tau_a = 0{,}6$ min, rezultă relația restrictivă a ritmului liniei:

$$n_i s_i \geqslant \frac{30}{1{,}4 \cdot 1 \cdot 0{,}85 - 0{,}6} = 50.$$

Puterea maximă admisibilă a mașinii. Mașina de găurit tip G40 are un motor electric de 4 kW, iar $\eta = 0{,}7$. Din tabelele [35] rezultă: $C_M = 33{,}8$; $x_M = 2$; $y_M = 0{,}8$.

Relația restrictivă (4.3.159) devine:

$$2 \cdot 11\, n_1 s_1^{0{,}8} + 400\, n_2 s_2^{0{,}8} \leqslant 0{,}44 \cdot 10^5.$$

Rezistența mecanică a burghielor. Efortul maxim admisibil în burghiu:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_r}{c} = \frac{2100}{2{,}5} = 840 \text{ N/mm}^2,$$

iar modulul de rezistență polar al secțiunii de calcul a burghiului

$$W_p = 0{,}02\, d_i^3 \text{ [mm}^3\text{]}.$$

Cu aceste date, restricția (4.3.160) devine:

$$s_1^{0{,}8} \leqslant 0{,}4; \quad s_2^{0{,}8} \leqslant 0{,}775.$$

Încărcarea maximă admisibilă a mecanismului de avans. Forța maximă admisibilă mecanismului de avans $F_a = 13\,500$ N; exponenții $x_F = 1$, $y_F = 0{,}7$ [28]; coeficientul $C_F = 61{,}2$.

Relația (4.3.161) devine:

$$11\, s_1^{0{,}7} + 20 \cdot s_2^{0{,}7} \leqslant 11{,}01.$$

Scanned with OKEN Scanner

Rezistența la flambaj a burghielor. Pentru burghiul din oțel din problemă $E = 2{,}1 \cdot 10^5$ N/mm^2; $I_{min} = 0{,}043\ d_i^4$; $c_1 = 5$; $C_F = 61{,}2$; $L_1 = 120$ mm; $L_2 = 170$ mm. Introducînd datele din problemă în relația (4.3.162), rezultă:

$$s_1^{0,7} \leqslant 0{,}27;\quad s_2^{0,7} \leqslant 0{,}81.$$

Evitarea depunerilor de material pe tăișul burghielor. Din relația (4.3.163) pentru datele problemei rezultă:

$$n_1 \geqslant 520;\quad n_2 \geqslant 286.$$

Evitarea supraîncălzirii burghielor. Din relația (4.3.164), cu datele problemei și coeficienți $x_0 = 0{,}4$; $y_0 = 1{,}05$; $z_0 = 0{,}2$; $\theta_a = 550$ °C; $C_0 = 166{,}5$ [35] rezultă:

$$n_1^{0,4} s_2^{0,2} \leqslant 10{,}75;\quad n_2^{0,4} s_2^{0,2} \leqslant 7{,}3.$$

Rezolvînd modelul matematic după metoda propusă în [35], au rezultat următoarele valori:

$$n_1 = 945 \text{ rot/min};\ s_1 = 0{,}06 \text{ mm/rot};$$

$$n_1 = 286 \text{ rot/min};\ s_2 = 0{,}20 \text{ mm/rot},$$

iar costul $C_1 = 5{,}17 \cdot 10^{-2}$ lei/operație.

Aplicînd metoda propusă a substituțiilor nelogaritmice, ținînd seama de relațiile (4.3.153)÷(4.3.157) și admițînd că: $C_v = 8$; $x_v = 0{,}4$; $m = 0{,}2$; $y_i = 0{,}7$, relațiile (4.3.154), (4.3.155) și (4.3.156), (4.3.157) devin:

$$n_1 = 400\ X_1^{5/3} X_2^{2/3};\ s_1 = \frac{0{,}25}{X_1^{8/3} X_2^{2/3}};$$

$$n_2 = 121{,}2\ X_1^{5/3} X_3^{2/3};\ s_2 = \frac{0{,}825}{X_1^{2/3} X_3^{2/3}}.$$

Modelul matematic al problemei (4.3.165) în cazul utilizării substituțiilor nelogaritmice are următoarea formă:

$$C = \frac{3}{10^4}(100\ X_1 + 1{,}02\ X_2 + 1{,}044\ X_3) \to \min \qquad (4.3.167)$$

în condițiile:

$$\left.\begin{array}{ll}
a)\ X_1 & \leqslant 2;\\
b)\ X_1^{0,46} & \geqslant 0{,}364 X_2^{0,13} + 0{,}944\ X_3^{0,13};\\
c)\ X_1^4 X_2 & \geqslant 2{,}06;\\
d)\ X_1^4 X_3 & \geqslant 1{,}172;\\
e)\ X_1^4 X_2 & \geqslant 0{,}685;\\
f)\ X_1^4 X_3 & \geqslant 1{,}2;\\
g)\ X_1^{1,86} & \geqslant \dfrac{0{,}378}{X_2^{0,46}} + \dfrac{1{,}59}{X_3^{0,46}};\\
h)\ X_1^{2,5} X_2 & \geqslant 1{,}478;\\
i)\ X_1^{2,5} X_3 & \geqslant 3{,}62;\\
j)\ X_1 X_2 & \leqslant 6{,}69;\\
k)\ X_1 X_3 & \leqslant 2{,}215.
\end{array}\right\} \qquad (4.3.168)$$

Scanned with OKEN Scanner

Rezolvarea modelului se poate face aplicînd algoritmul Simplex, analitic cu ajutorul calculatorului electronic sau grafic.

Rezolvarea grafo-analitică este prezentată în figura (4.3.16) din care rezultă punctul P_{opt} de coordonate: $X_{1\,opt} = 1{,}64$; $X_{2\,opt} = 0{,}43$; $X_{3\,opt} = 1{,}05$ (s-au neglijat restricțiile *d*, *e* și *g* ca fiind neesențiale).

Optimul funcției obiectiv, determinat grafo-analitic corespunde următoarelor valori ale parametrilor regimului de așchiere:

$n_1 = 535$ rot/min;

$s_1 = 0{,}11$ mm/rot;

$n_2 = 286$ rot/min;

$s_2 = 0{,}21$ mm/rot,

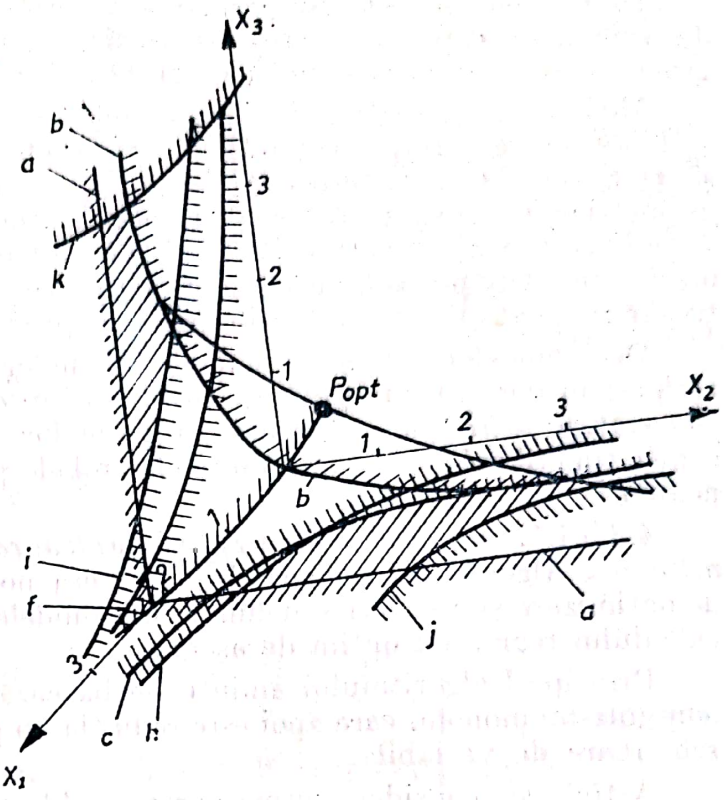


Fig. 4.3.16. Rezolvarea grafo-analitică a modelului matematic.

iar costul rezultat $C_{II} = 4{,}96 \cdot 10^{-2}$ lei/operație $< 5{,}17 \cdot 10^{-2}$ lei/operație.

Din aceste două rezolvări rezultă avantajul unei programări convexe neîngrădite de condiții de optimizare externă: $C_{II} < C_I$.

4.3.5. REZOLVAREA MODELELOR MATEMATICE

4.3.5.1. **Metode de rezolvare.** Problemele de programare matematică pot fi împărțite în următoarele două clase mari, distincte, funcție de instrumentul matematic folosit pentru rezolvarea lor, instrument care depinde de particularitățile structurii lor specifice;

1 — clasa problemelor de programare matematică *liniară*, la care atît funcțiile de optimizare cît și cele restrictive sînt expresii liniare, sau pot fi ușor liniarizate printr-un artificiu matematic;

2 — clasa problemelor de programare matematică *neliniară*, la care funcțiile de optimizare și cele restrictive nu sînt toate expresii liniare și nici nu pot fi liniarizate.

Și în cadrul celor două clase de probleme ale programării se întîlnesc cîteva categorii de probleme.

Astfel o categorie importantă de probleme de programare matematică neliniară îl constituie problemele de *programare convexă* care constă în minimizarea unei funcții de optimizare convexe, sau în maximizarea uneia concave, cu condiția ca mulțimea soluțiilor posibile să fie un domeniu convex.

O altă categorie de probleme de programare matematică neliniară sînt cele de *programare geometrică*.

Scanned with OKEN Scanner

Problemele speciale din această categorie sînt acelea la care atît funcția de optimizare cît și funcțiile restrictive ale modelului matematic sînt polinoame generalizate de grad oarecare dar cu coeficienți pozitivi.

Modelele matematice ale problemelor de calcul a regimului optim de așchiere, scrise în forma lor inițială, conțin atît funcții convexe de optimizare și restrictive, cît și funcții care nu pot fi rezolvate prin metoda programării geometrice, deoarece prin aducerea inegalităților din restricții la același sens, apar și coeficienți negativi. De asemenea nu toate funcțiile modelelor matematice amintite pot fi liniarizate, ceea ce face ca modelele matematice respective să nu poată fi rezolvate prin metodele programării matematice liniare.

Deci, modelele matematice ale problemelor de calcul a regimului optim de așchiere în forma lor inițială, se încadrează în *clasa problemelor de programare matematică neliniară*, categoria programelor geometrice reverse, deoarece conțin funcții restrictive inegalități de ambele sensuri, unele din ele fiind polinoame.

4.3.5.1.1. *Algoritmul condensării pentru rezolvarea modelelor matematice neliniare.* Algoritmul condensării [72] oferă posibilitatea liniarizării funcțiilor de optimizare și restrictive neliniare din modelele matematice ale problemelor calculului regimului optim de așchiere.

Principiul algoritmului amintit se bazează pe „condensarea" unui polinom într-un monom, care apoi este redus la un program liniar, printr-o simplă schimbare de variabilă.

Astfel, se consideră următoarea problemă de programare geometrică (model matematic neliniar):

$$\min \{p_0(x)/p_k(x) \leqslant 1,\ k = 1, 2, ..., p;\ x > 0\}, \tag{4.3.169}$$

în care: p_k, $k = 0, 1, 2, ..., p$, sînt polinoame.

Aplicînd inegalitatea geometrică pozinomului p_k, se obține:

$$p_k(x) \geqslant p_k(x; \alpha) = \prod_{i \in I_k} \left(\frac{u_i}{\alpha_i}\right)^{\alpha_i}. \tag{4.3.170}$$

În relația (4.3.170) se consideră ponderile α_i, $i = 1, 2, ..., m$, ca fiind pozitive, astfel încît suma lor să fie egală cu 1, adică

$$\sum_{i \in I_k} \alpha_i = 1,\ k = 0,1, 2, ..., p,\ \alpha_i > 0. \tag{4.3.170'}$$

Dacă pozinomul din relația (4.3.170) se transformă în monom $p_k(x; \alpha)$, el capătă forma:

$$p_k(x, \alpha) = C_k x_1^{\bar{a}_{k_1}} \cdot x_2^{\bar{a}_{k_2}} \ldots x_n^{\bar{a}_{k_n}}, \tag{4.3.171}$$

în care:

$$\left.\begin{aligned} \bar{C}_k &= \prod_{i \in I_k} \left(\frac{C_i}{\alpha_i}\right)^{\alpha_i} \\ \text{iar} \\ \bar{a}_{kj} &= \sum_{i \in I_k} \alpha_i a_{ij},\ k = 0, 1, 2, ..., p \\ & \qquad j = 1, 2, ..., n \end{aligned}\right\} \tag{4.3.172}$$

Scanned with OKEN Scanner

Termenii C_i și a_{ij} aparțin pozinomului $p_k(x)$, care este de forma:

$$p(x) = \sum_{i \in I_k} u_i = \sum_{i \in I_k} C_i x_1^{a_{i_1}} \cdot x_2^{a_{i_2}} \ldots . \; x_n^{a_{i_n}}. \qquad (4.3.173)$$

Dacă fiecare pozinom din sistemul de restricții al modelului matematic se înlocuiește cu „condensatul" său, adică $p_k(x)$ se înlocuiește cu $p_k(x;\ \alpha)$, modelul matematic neliniar inițial se transformă în următorul model matematic „condensat" (funcția de optimizare condensată fiind egală cu $p_0(x;\ \alpha)$):

$$\min \{p_0(x;\ \alpha)/p_k(x;\ \alpha) \leqslant 1,\ k = 1,\ 2,\ \ldots,\ p,\ x > 0\}.$$

În modelul matematic obținut după „condensare" se face următoarea schimbare de variabile:

$$\left.\begin{aligned} z_j &= \ln x_j,\ j = 1,\ 2,\ \ldots,\ n; \\ G_k &= \ln p_k(x;\ \alpha),\ k = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots,\ p; \\ C_k &= \ln C_k,\ k = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots,\ p; \end{aligned}\right\} \qquad (3.4.174)$$

și se obține următorul model matematic liniar:

$$\left.\begin{aligned} &\min \{G_0(z)/G_k(z) \leqslant 0,\ k = 1,\ 2,\ \ldots,\ p\} \\ &G_k(z) = \sum_{j=1}^{n} \bar{a}_{kj} z_j + C_k,\ k = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots,\ p \end{aligned}\right\}. \qquad (4.3.175)$$

în care:

Modelul matematic liniar (4.3.175) se poate rezolva analitic cu ajutorul algoritmului SIMPLEX (manual sau cu ajutorul calculatorului electronic), sau grafic (de asemenea, manual sau cu ajutorul calculatorului electronic).

Aplicație exemplificatorie. Pentru înțelegerea ușoară a aplicării algoritmului condensării pentru liniarizarea funcțiilor de optimizare și a funcțiilor respective neliniare, se prezintă următoarea aplicație exemplificatoare.

Fie astfel modelul matematic al problemei calculului regimului optim de așchiere la prelucrarea prin frezare cu o freză cilindro-frontală.

În modelul matematic respectiv numai funcția de optimizare este un pozinom. Ea a fost adusă la forma:

$$C = \frac{2{,}717}{x_1 x_2} + \frac{0{,}0025}{x_2}.$$

Pentru a fi liniarizată, funcția respectivă se scrie astfel:

$$C = 2{,}717\ x_1^{-1} \cdot x_2^{-1} + 0{,}0025\ x_2^{-1}.$$

Ținînd seama de expresia analitică a unui pozinom (4.3.173) se poate scrie:

$$\left.\begin{aligned} &u_1 = 2{,}717\ x_1^{-1} \cdot x_2^{-1};\ \ u_2 = 0{,}0025\ x_2^{-1};\ C_1 = 2{,}717;\ C_2 = 0{,}0025; \\ &a_{11} = -1;\ a_{21} = 0;\ a_{12} = -1;\ a_{22} = -1. \end{aligned}\right\} \qquad (4.3.175')$$

C_1 și C_2 sînt coeficienții din fața variabilelor; iar a_{ij} — exponenții variabilelor.

Folosind relațiile (4.3.172) se obține pentru cazul studiat:

$$\bar{C}_0 = \prod_{i \in I_k} \left(\frac{C_i}{\alpha_i}\right)^{\alpha_i} = \left(\frac{C_1}{\alpha_1}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{C_2}{\alpha_2}\right)^{\alpha_2}. \qquad (4.3.175'')$$

Scanned with OKEN Scanner

Înlocuind în relația (4.2.175″) coeficienții C_1 și C_2 cu valorile lor numerice, ea devine:

$$\bar{C}_0 = \left(\frac{2{,}717}{\alpha_1}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{0{,}0025}{\alpha_2}\right)^{\alpha_2}. \qquad (4.3.175''')$$

Folosind în continuare aceleași relații (4.3.172) rezultă că:

$$\bar{a}_{0j} = \sum_{i \in I_k}^{2} \alpha_i a_{ij},$$

(adică:

$$\bar{a}_{01} = \sum_{i \in I_k}^{2} \alpha_i a_{i1} = \alpha_1 a_{11} + \alpha_2 a_{21};$$

$$\bar{a}_{02} = \sum_{i \in I_k} \alpha_i a_{i2} = \alpha_1 a_{12} + \alpha_2 a_{22}.$$

Dacă în relațiile obținute se înlocuiesc valorile exponenților din relațiile 4.3.175′) se obține:

$$\bar{a}_{01} = \alpha_i(-1) + \alpha_2(0) = -\alpha_1;$$

$$\bar{a}_{02} = \alpha_1(-1) + \alpha_2(-1) = -(\alpha_1 + \alpha_2).$$

Dacă în relația condensată (4.3.171) care are forma $f_k(x; \alpha) = C_k x_1^{\bar{a}_{k_1}} \cdot x_2^{\bar{a}_{k_2}} \ldots x_n^{\bar{a}_{k_n}}$ se înlocuiește indicele k cu 0 se obține expresia analitică „condensată" a funcției de optimizare:

$$p_0(x; \alpha) = \bar{C}_0(x, \alpha) = \bar{C}_0 x_1^{\bar{a}_{01}} \cdot x_2^{\bar{a}_{02}},$$

sau pentru cazul numeric studiat:

$$p_0(x; \alpha) = \left(\frac{2{,}717}{\alpha_1}\right)^{\alpha_1} \left(\frac{0{,}0025}{\alpha_2}\right)^{\alpha_2} \cdot x_1^{-\alpha_1} x_2^{-(\alpha_1+\alpha_2)},$$

întrucît

$$\bar{C}_0 = \prod_{i \in I_k} \left(\frac{C_i}{\alpha_i}\right)^{\alpha_i} = \left(\frac{C_1}{\alpha_1}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{C_2}{\alpha_2}\right)^{\alpha_2},$$

vezi relațiile (4.3.175″) și (4.3.175‴).

Pentru ca modelul matematic (respectiv funcția de optimizare) să poată fi rezolvat, urmează să se aleagă valorile ponderilor α_1 și α_2 astfel încît, conform relației (4.3.170′),

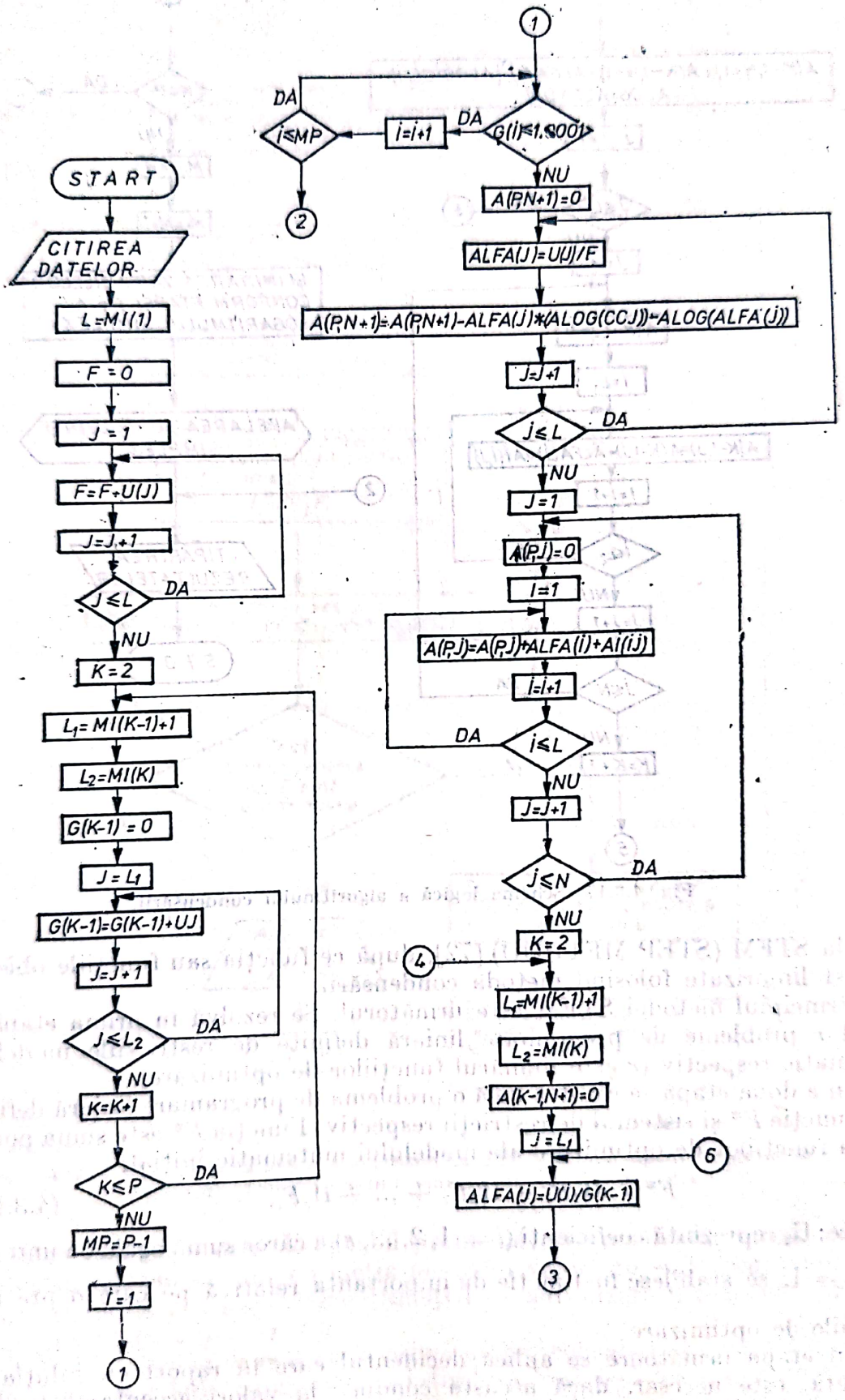
$$\sum_{i=1}^{2} \alpha_i = 1 \ (i = 1,2), \ \alpha_i > 0.$$

Liniarizînd, așa cum s-a arătat, funcția de optimizare și funcțiile restrictive ale modelului matematic, cu ajutorul algoritmului condensării, acesta se poate apoi rezolva fie grafic, fie analitic manual sau cu ajutorul calculatorului electronic, folosind algoritmul SIMPLEX.

Schema logică pentru calculul regimului optim de așchiere, utilizînd algoritmul „condensării" și algoritmul SIMPLEX este redată în figura 4.3.17.

4.3.5.12. *Metoda STEM de rezolvare a modelelor matematice cu mai multe funcții de optimizare.* Modelele matematice cu două sau mai multe funcții de optimizare dintre care unele sînt funcții neliniare pot fi rezolvate ușor prin

Scanned with OKEN Scanner


START
CITIREA DATELOR
L=MI(1)
F=0
J=1
F=F+U(J)
J=J+1
J≤L
DA
NU
K=2
L1=MI(K-1)+1
L2=MI(K)
G(K-1)=0
J=L1
G(K-1)=G(K-1)+UJ
J=J+1
J≤L2
DA
NU
K=K+1
K≤P
DA
NU
MP=P-1
I=1
1
1
G(I)≤1.0001
DA
I=I+1
I≤MP
DA
2
NU
A(P,N+1)=0
ALFA(J)=U(J)/F
A(P,N+1)=A(P,N+1)-ALFA(J)*(ALOG(CCJ))-ALOG(ALFA(J))
J=J+1
J≤L
DA
NU
J=1
A(P,J)=0
I=1
A(P,J)=A(P,J)+ALFA(I)+AI(IJ)
I=I+1
I≤L
DA
NU
J=J+1
J≤N
DA
NU
K=2
4
L1=MI(K-1)+1
L2=MI(K)
A(K-1,N+1)=0
J=L1
6
ALFA(J)=U(J)/G(K-1)
3

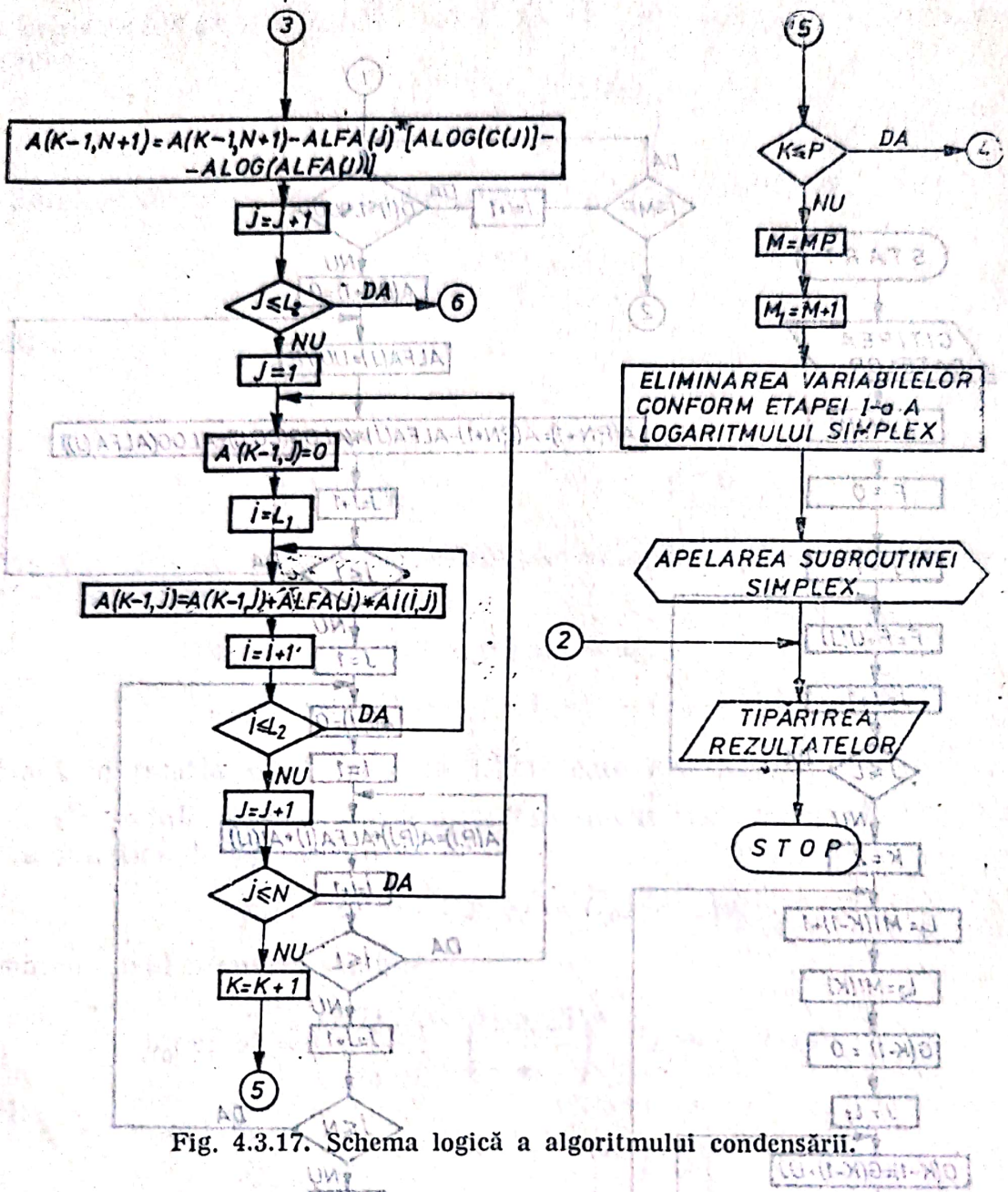


Fig. 4.3.17. Schema logică a algoritmului condensării.

metoda STEM (STEP METHOD) [72], după ce funcția sau funcțiile obiectiv au fost liniarizate folosind metoda condensării.

Principiul metodei STEM este următorul. Se rezolvă în prima etapă de calcul r probleme de programare liniară definite de restricțiile modelului matematic respectiv (r este numărul funcțiilor de optimizare).

În a doua etapă se rezolvă încă o problemă de programare liniară definită de o funcție F^* și sistemul de restricții respectiv. Funcția F^* este suma ponderată a funcțiilor de optimizare ale modelului matematic inițial:

$$F^* = \Pi_1 F_1 + \Pi_2 F_2 + \ldots + \Pi_r F_r, \qquad (4.3.176)$$

în care: Π_i reprezintă coeficienți ($i = 1, 2, \ldots, r$) a căror sumă egală cu unitatea $\sum_i^r \Pi_i = 1$, se stabilesc în funcție de importanța relativă pe care o prezintă funcțiile de optimizare.

În etapa următoare se aplică decidentul care în raport cu soluția S^* obținută, este necesar, dacă aceasta conduce la valori acceptabile pentru funcțiile de optimizare respective.

Scanned with OKEN Scanner

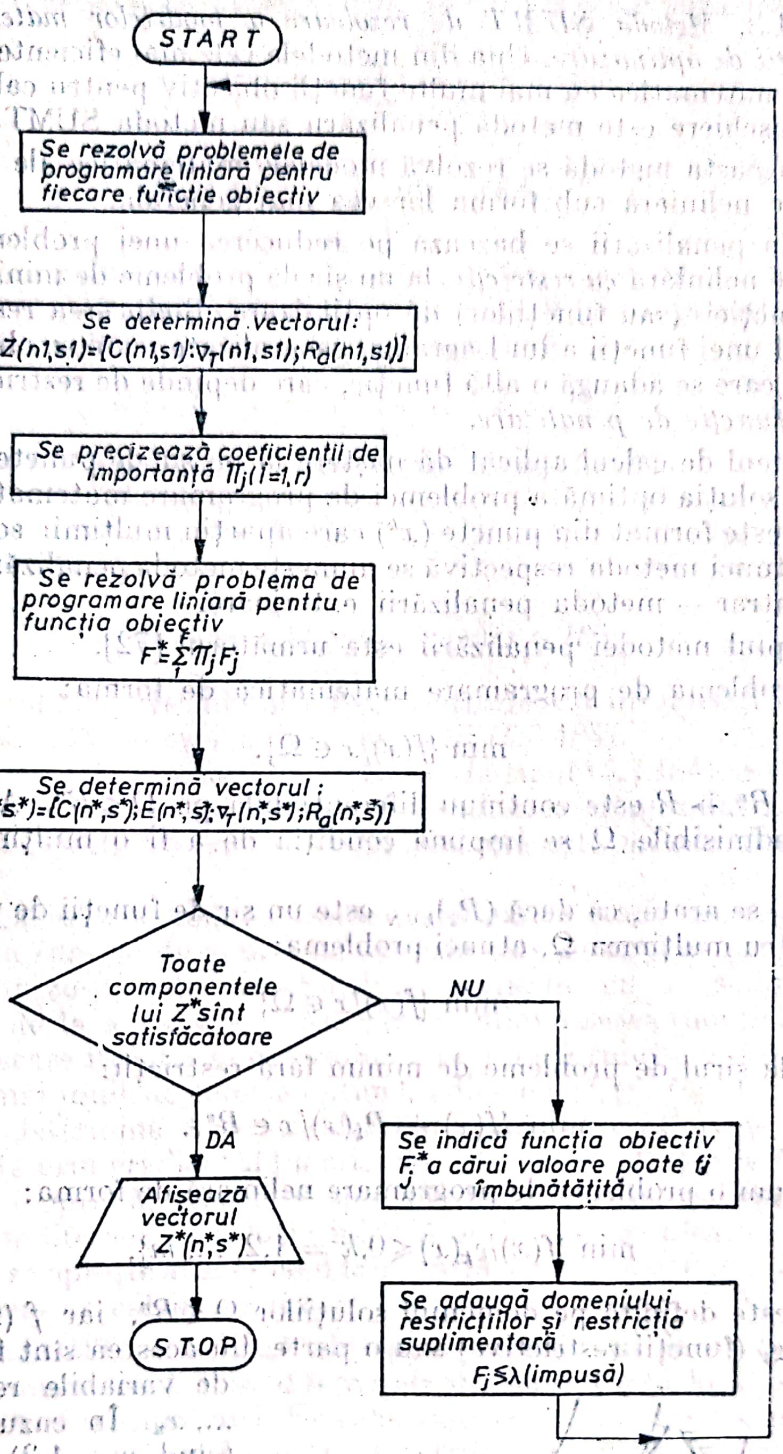


Fig. 4.3.18. Schema logică a algoritmului STEM pentru calculul regimului optim de așchiere folosind mai multe funcții obiectiv.

Dacă răspunsul este acceptabil problema este rezolvată, în caz contrar decidentul trebuie să indice funcția ale cărei valori nu sînt acceptabile și să indice pragul de la care valoarea funcției de optimizare îl satisface, printr-o *relație restrictivă suplimentară.*

Astfel, problema se reia de la prima etapă, considerînd modelul matematic inițial și restricția suplimentară introdusă, restricție care restrînge domeniul soluțiilor posibile, pînă la obținerea unei soluții care satisface decidentul.

Schema logică a metodei STEM este prezentată în figura 4.3.18.

4.3.5.1.3. *Metoda SUMT de rezolvare a modelelor matematice cu mai multe funcții de optimizare.* Una din metodele cele mai eficiente de rezolvare a modelelor matematice cu mai multe funcții obiectiv pentru calculul regimului optim de așchiere este metoda penalizării sau metoda SUMT.

Prin această metodă se rezolvă modelele matematice ale problemelor de programare neliniară sub forma lor cea mai generală.

Metoda penalizării se bazează pe reducerea unei probleme generale de programare neliniară *cu restricții*, la un șir de probleme de minim *fără restricții* asupra funcției (sau funcțiilor) de optimizare. Reducerea respectivă se face cu ajutorul unei funcții a lui Lagrange generalizate, care se obține din funcția obiectiv la care se adaugă o altă funcție, care depinde de restricțiile problemei, denumită *funcție de penalizare.*

Procedeul de calcul aplicat dă naștere la un șir de puncte (x^k), care converg către soluția optimă a problemei de programare matematică *cu restricții.* Dacă șirul este format din puncte (x^k) care aparțin mulțimii soluțiilor admisibile (Ω), atunci metoda respectivă se numește metoda penalizării interioare, iar în caz contrar — metoda penalizării exterioare.

Principiul metodei penalizării este următorul [72].

Fie problema de programare matematică de forma:

$$\min \{f(x)/x \in \Omega\}, \tag{4.3.177}$$

în care: f: $R^n \to R$ este continuu diferențiabilă pe $\Omega \leqslant R^n$. Asupra mulțimii soluțiilor admisibile Ω se impune condiția de a fi o mulțime compactă și nevidă.

În [72] se arată, că dacă $(P_k)_{k \in N}$ este un șir de funcții de penalizare interioară pentru mulțimea Ω, atunci problema:

$$\min \{f(x)/x \in \Omega\}$$

se reduce la șirul de probleme de minim fără restricții:

$$\min \{f(x) + P_k(x)/x \in R^n\}. \tag{4.3.178}$$

Fie acum o problemă de programare neliniară de forma:

$$\min \{f(x)/g_k(x) \leqslant 0, k = 1,2, \ldots, m\}, \tag{4.3.179}$$

în care: f este definită pe domeniul soluțiilor $\Omega \leqslant R^n$, iar f (funcție de optimizare) și g_k (funcții restrictive) sau o parte din acestea sînt funcții neliniare de variabile reale x_1, x_2, x_3, ..., x_n. În cazul bidimensional (cînd $n = 1,2$), problema respectivă este ilustrată în figura 4.3.19.

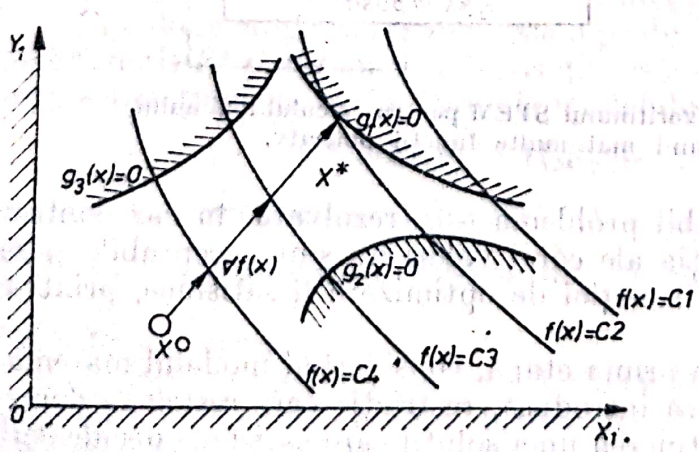


Fig. 4.3.19. Minimul cu restricții, în care restricțiile influențează minimul.

Soluția optimă a problemei (care minimizează funcția de optimizare și satisface toate funcțiile restrictive) este punctul x^*, punct în care o linie de nivel este tangentă la curba $g_1(x) = 0$.

Scanned with OKEN Scanner

Cele mai uzuale funcţii de penalizare (după [72]) sînt următoarele:

$$P_k(x) = -r_k \sum_{i=1}^{m} \frac{1}{g_i(x)}; \tag{4.3.180}$$

$$P_k(x) = -r_k \sum_{i=1}^{m} ln(-g_i(x)), \tag{4.3.181}$$

în care: r_k este un şir de numere pozitive strict descrescătoare către zero, cînd $k \to \infty$, iar $g_i(x)$ sînt funcţiile restrictive ale modelului matematic.

În acest fel problema de programare neliniară

$$\min \{f(x)/g_k(x) \leqslant 0, k = 1,2, .., m\} \tag{4.3.182}$$

se reduce la găsirea punctelor x^* care minimizează funcţia

$$F_k = f(x) + P_k(x), \tag{4.3.183}$$

adică

$$F_{(x^*)} = \min \{f(x) + P_k(x)/x \in R^n\}. \tag{4.3.184}$$

Astfel, o problemă de minim cu restricţii de tip inegalităţi (4.3.179) se reduce la o problemă de minim fără restricţii (4.3.184).

Problemele de programare fără restricţii de tipul (4.3.184) se rezolvă prin mai multe metode cunoscute pentru determinarea minimului unei funcţii diferenţiabile în R^n, dintre care cea mai eficientă este *metoda direcţiilor conjugate* [72].

Algoritmul acestei metode cuprinde următoarele etape care se repetă de mai multe ori în funcţie de gradul de precizie care se impune problemei.

Principiul metodei este următorul: se porneşte cu o soluţie iniţială $x^0 \in \Omega$(respectiv de la o valoare aleasă pentru minimizarea funcţiei de optimizare) şi după fiecare iteraţie se determină cîte o nouă soluţie a problemei care se apropie tot mai mult de soluţia optimă, adică de x^* (v. fig. 4.3.19). La fiecare iteraţie se determină direcţia celei mai rapide descreşteri pe baza informaţiilor obţinute prin gradientul funcţiei de optimizare $\Delta f(x)$ şi *pasul de înaintare* spre soluţia optimă, respectiv spre minimul funcţiei de optimizare, la care se ajunge indiferent de soluţia iniţială de la care se pleacă.

Algoritmul se opreşte atunci cînd la iteraţia i, $\Delta f(x) = 0$ sau $//\Delta f(x^i)// < \varepsilon$($\varepsilon$ este precizia de calcul impusă).

Algoritmul SUMT nu asigură obţinerea unei soluţii de optim global, ci numai una de optim local, însă diferenţele dintre optimul local şi cel global sînt doar de 10^{-2}, chiar mai mici. Eroarea care se obţine este acceptabilă pentru scopul urmărit (determinarea parametrilor optimi ai regimului de aşchiere).

Un alt avantaj al algoritmului SUMT, chiar mai mare decît cel referitor la gradul de precizie al soluţiei optime a problemei, faţă de alte metode de rezolvare a modelelor matematice cu funcţii neliniare şi neconvexe, constă în faptul, că el se poate aplica direct acestor modele matematice fără a mai fi necesară liniarizarea funcţiei (sau a funcţiilor) de optimizare şi a celor restrictive.

Se subliniază observaţia că un model matematic pentru calculul regimului optim de aşchiere poate avea chiar două, trei sau mai multe funcţii de optimizare.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul modelelor matematice cu mai multe funcţii de optimizare, nici un algoritm cunoscut pînă în prezent nu poate găsi o soluţie optimă comună pentru toate funcţiile de optimizare, ci una care este optimă pentru una din funcţiile de optimizare şi acceptabilă pentru celelalte.

Cercetătorii în domeniul programării matematice [72] au introdus noţiunea de *soluţie eficientă* a problemei de programare cu mai multe funcţii de optimizare, în locul noţiunii de soluţie optimă.

Unii cercetători susţin că: x^* este soluţia sau vectorul care optimizează o funcţie *sinteză* a celor r funcţii de optimizare: $h(F) = h(F_1, F_2, ..., F_r)$, iar alţii susţin că: x^* este vectorul care minimizează un criteriu de optimizare de forma:

$$\Phi(x^*) = \min\ h[\psi_1(x - X_1), ..., \psi_r(x - X_r)], \qquad (4.3.185)$$

în care: X_j este soluţia optimă a funcţiei de optimizare $F_j (j = 1,2, ..., r)$, iar ψ_k este o funcţie de distanţă dintre vectorul $x \in D$ şi soluţia optimă X_k a funcţiei F_k.

Alegerea concretă a funcţiilor h şi ψ_k permite să se obţină cazuri particulare ale expresiei (4.3.185).

Astfel pentru

$$\psi_i(x - X_i) = F_i(X_i) - F_i(x), \qquad (4.3.186)$$

expresia (4.3.185) devine:

$$\Phi(x) = h[\psi_1(x - X_1), .., \psi_r(x - X_r)] = \sum_{i=1}^{r} [F_i(X_i) - F_i(x)]^2. \qquad (4.3.187)$$

Pentru modelele matematice cu trei funcţii de optimizare, relaţia (4.3.187) se scrie astfel:

$$\Phi(x^*) = [F_1(x) - F_1(X_1)]^2 + [F_2(x) - F_2\ (X_2)]^2 + [F_3(x) - F_3(X_3)]^2, \qquad (4.3.188)$$

în care: F_1 este funcţia de optimizare 1 a cărei soluţie optimă este X_1; F_2 este cea de a doua funcţie de optimizare care are soluţia optimă X_2; F_3 este a treia funcţie de optimizare cu soluţia ei optimă X_3.

Într-un model matematic cu mai multe funcţii de optimizare se poate întîmpla, ca nu toate funcţiile respective să prezinte aceeaşi importanţă pentru problema respectivă, adică, funcţiile de optimizare pot avea ponderi sau grade diferite de importanţă, în cazul nostru, asupra regimului optim de aşchiere.

În afară de cele arătate mai sus, trebuie să se ţină seama şi de faptul că funcţiile de optimizare ale modelului matematic respectiv au semnificaţii economice diferite. Astfel, F_1 poate exprima costul pe bucată la o operaţie (lei/buc. op.), F_2 — timpul de lucru pe bucată (min/buc.op.), iar F_i — energia electrică consumată pentru prelucrarea unei piese la o operaţie (kW/buc. op.).

Pentru rezolvarea corectă a problemei regimului optim de aşchiere, trebuie ca în relaţia (4.3.198) să se ataşeze funcţiilor de optimizare respective (F_i), ponderii p_i, care reflectă gradul de importanţă relativă pe care-l are fiecare din ele asupra regimului optim de aşchiere.

Scanned with OKEN Scanner

Astfel, relația (4.3.188) capătă forma generală:

$$\Phi(x^*) = \sum_{i=1}^{r} \{p_i[F_i(x) - F_i(X_i)]\}^2. \qquad (4.3.189)$$

Valorile ponderilor p_i se determină pe baza teoriei jocurilor.

Etapele principale ale algoritmului SUMT pentru rezolvarea modelelor matematice cu mai multe funcții de optimizare sînt următoarele:

1 — se rezolvă prin metoda SUMT modelul matematic alcătuit din prima funcție de optimizare și sistemul de restricții, rezultînd soluția optimă X_1 a funcției F_1;

2 — se rezolvă prin aceeași metodă modelul matematic alcătuit din a doua funcție de optimizare și sistemul de restricții utilizat și la punctul 1, obținînd soluția optimă corespunzătoare X_2 a funcției F_2;

3 — idem pentru funcția F_3, obținînd X_3.

4 — se rezolvă prin metoda SUMT modelul matematic alcătuit din criteriul de optimalitate exprimat prin funcția $\Phi(x^*)$, (4.3.189), care ține seama de cele trei funcții de optimizare și sistemul de restricții al modelului matematic și se obține soluția eficientă X^* a problemei de calcul a regimului optim de așchiere, adică soluția care face minimă suma pătratelor abaterilor de la valorile optime ale celor trei funcții de optimizare.

Pentru ilustrarea grafică, în plan, a soluției eficiente a problemei, se consideră, că toate funcțiile modelului matematic, atît cele de optimizare cît și cele restrictive, sînt de două variabile (x_1 și x_2).

În [72] se arată, că în cazul în care funcțiile de optimizare sînt *neliniare*, mulțimea soluțiilor eficiente poate fi o submulțime a domeniului Ω, ceea ce favorizează existența așa-numitelor *curbe* și *suprafețe eficiente* pentru o problemă dată. Deci soluțiile eficiente pot fi și puncte din domeniul Ω și nu numai puncte de pe frontiera acestui domeniu, cum se întîmplă cu soluțiile optime x_1, x_2, la rezolvarea modelelor matematice care au numai *o singură* funcție de optimizare.

În figura 4.3.20 s-a ilustrat un caz în care soluția eficientă x^* pentru cele trei funcții de optimizare ale modelului matematic pentru calculul regimului optim de așchiere se află undeva în interiorul domeniului Ω a soluțiilor eficiente, aproape de frontiera lui și nu pe frontieră.

Algoritmul SUMT prezentat mai sus este programat pe calculatorul WANG-2200 în limbajul BAZIC, precum și pe calculatorul Felix-256 în limbajul FORTRAN.

Programul respectiv poate funcționa ca o unitate independentă de tip subrutină, denumită REGIM, în cadrul *programului general* de proiectare automată a procesului tehnologic de prelucrare a pieselor din clasele arbori, bucșe, carcase și roți dințate.

Schema logică a programului REGIM este prezentată în figura 4.3.21.

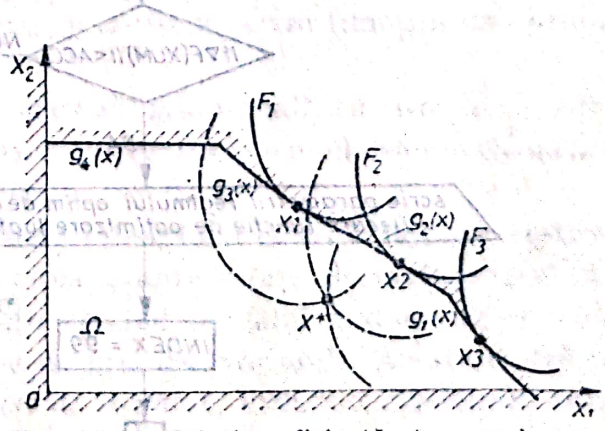


Fig. 4.3.20. Soluția eficientă în cazul problemelor cu trei funcții obiectiv.

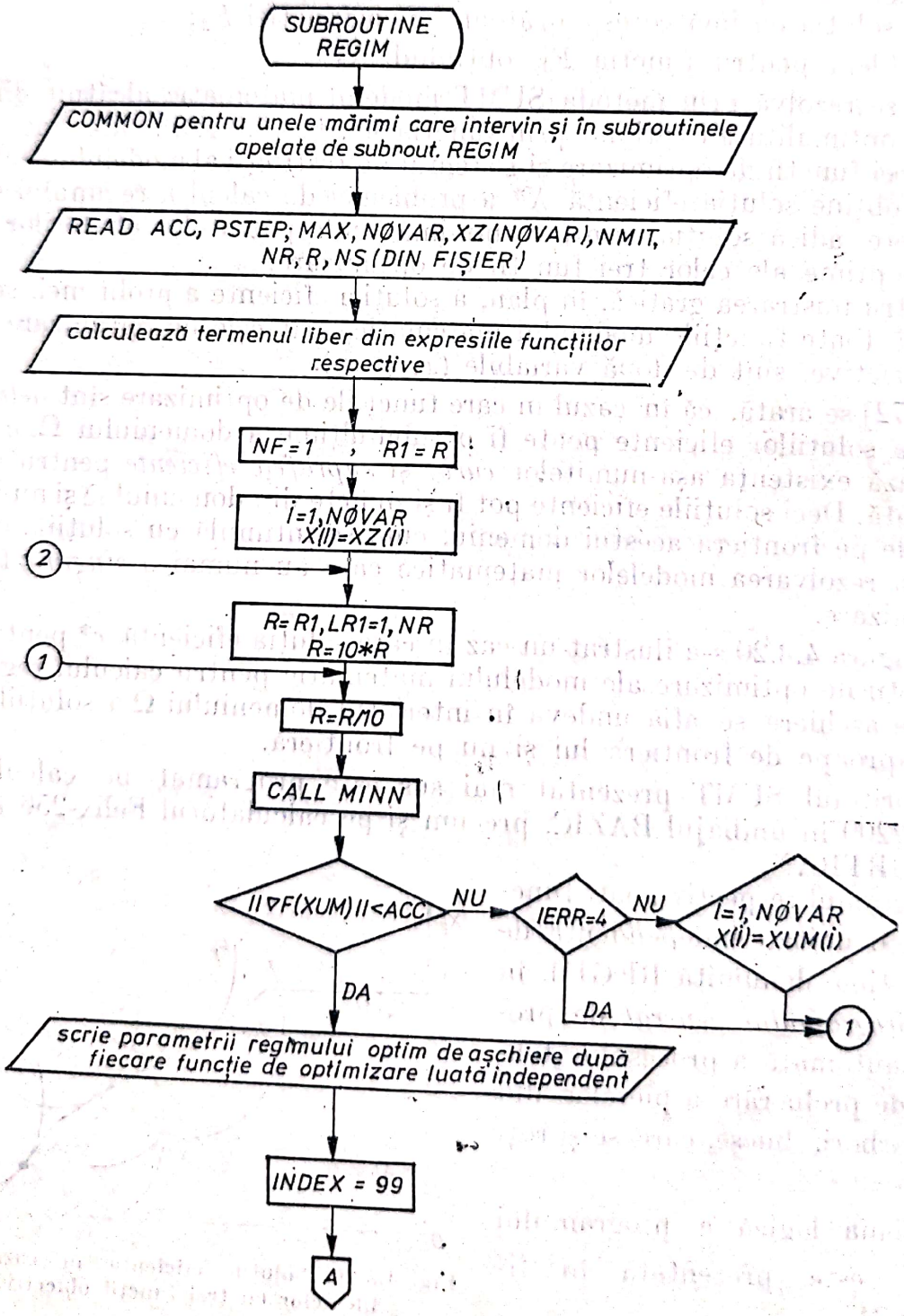
În cadrul programului REGIM sînt incluse cinci subrutine și anume:

1 — subrutina MINN [72] care minimizează o funcție de n variabile, fără restricții, utilizînd algoritmul direcțiilor conjugate;

2 — subrutina STEPG [68] care determină prin metoda interpolării succesive cu o cubică, minimul pe o direcție dată, folosind informația dată de gradientul funcției de optimizare $\Delta f(x)$;

3 — subrutina FUN, a cărei schemă logică prezentată în figura 4.3.22, calculează la fiecare apelare valoarea funcției de optimizare fără restricții, pentru diferite valori ale variabilelor;

4 — subrutina GRAD, a cărei schemă logică prezentată în figura 4.3.23 calculează valorile pentru derivatele parțiale ale funcției de optimizare fără restricții în diferite puncte determinate anterior prin program;



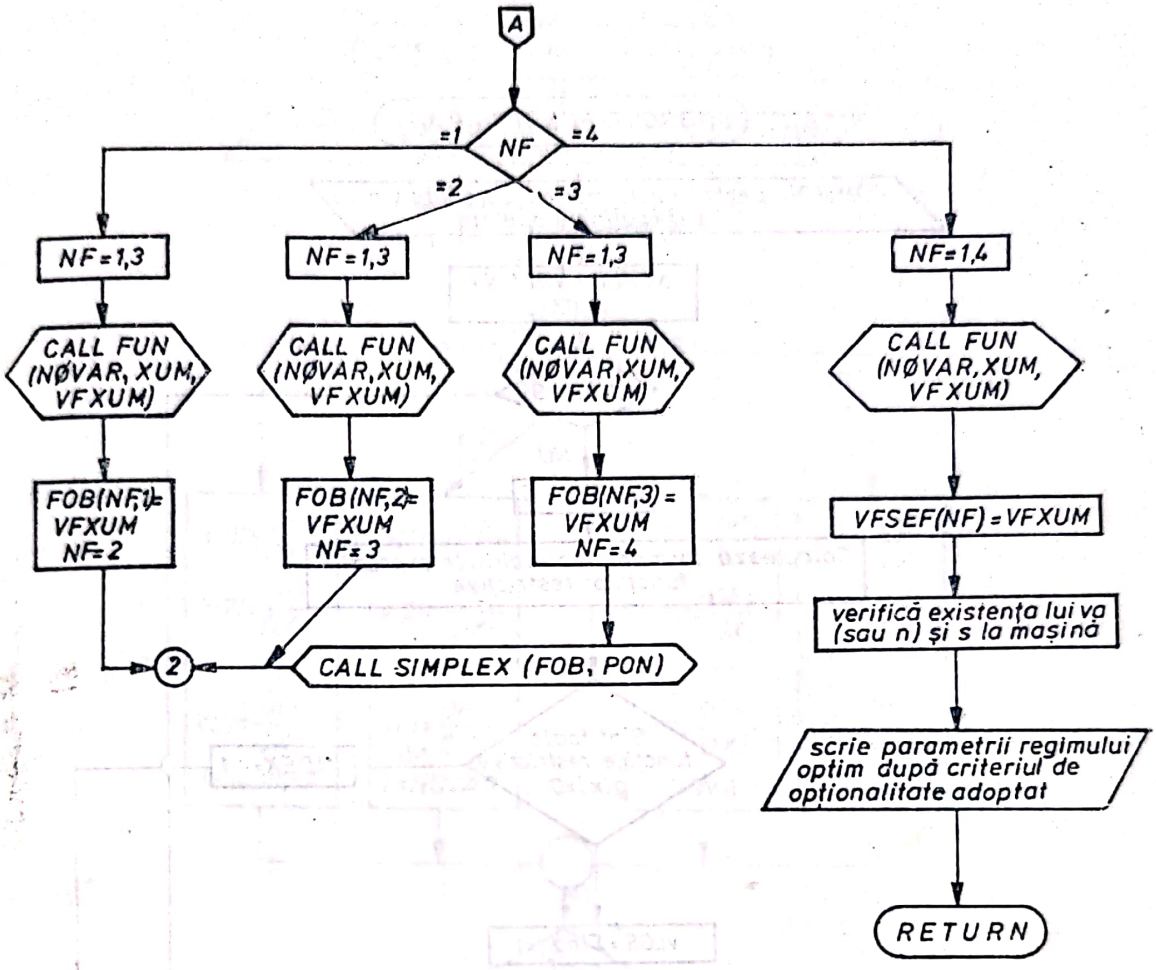


Fig. 4.3.21. Schema logică a subrutinei „Regim" pentru calculul regimului optim de așchiere folosind mai multe funcții obiectiv.

5 — subrutina SIMPLEX, cu ajutorul căreia se determină ponderile p_i atașate fiecărei funcții obiectiv F_i [din relația (4.3.198)], funcție de valorile funcțiilor F_i în punctele lor optime, utilizînd teoria jocurilor. Schema logică a acestei subrutine este prezentată în figura 4.3.24.

Subrutinele FUN, STEPG și SIMPLEX sînt comune tuturor modelelor matematice cu mai multe funcții de optimizare programate, iar celelalte două se scriu pentru fiecare model matematic, întrucît intervin funcțiile de optimizare și restrictive ale modelului.

4.3.5.1.4. Metoda grafo-analitică. Metoda grafo-analitică este o combinație a metodei grafice și a celei analitice de rezolvare a modelelor matematice neliniare.

Metoda grafo-analitică elimină necesitatea liniarizării funcțiilor restrictive prin logaritmare, oferind următoarele avantaje față de metoda grafică:

— elimină pierderile de soluții atunci cînd modelul matematic conține funcții restrictive de forma unor sume de produse variabile. Aceste restricții se pot transforma în *funcții cu produse de variabile* utilizînd algoritmul condensării;

— elimină pierderile de precizie care apar la liniarizare prin logaritmare;

Scanned with OKEN Scanner

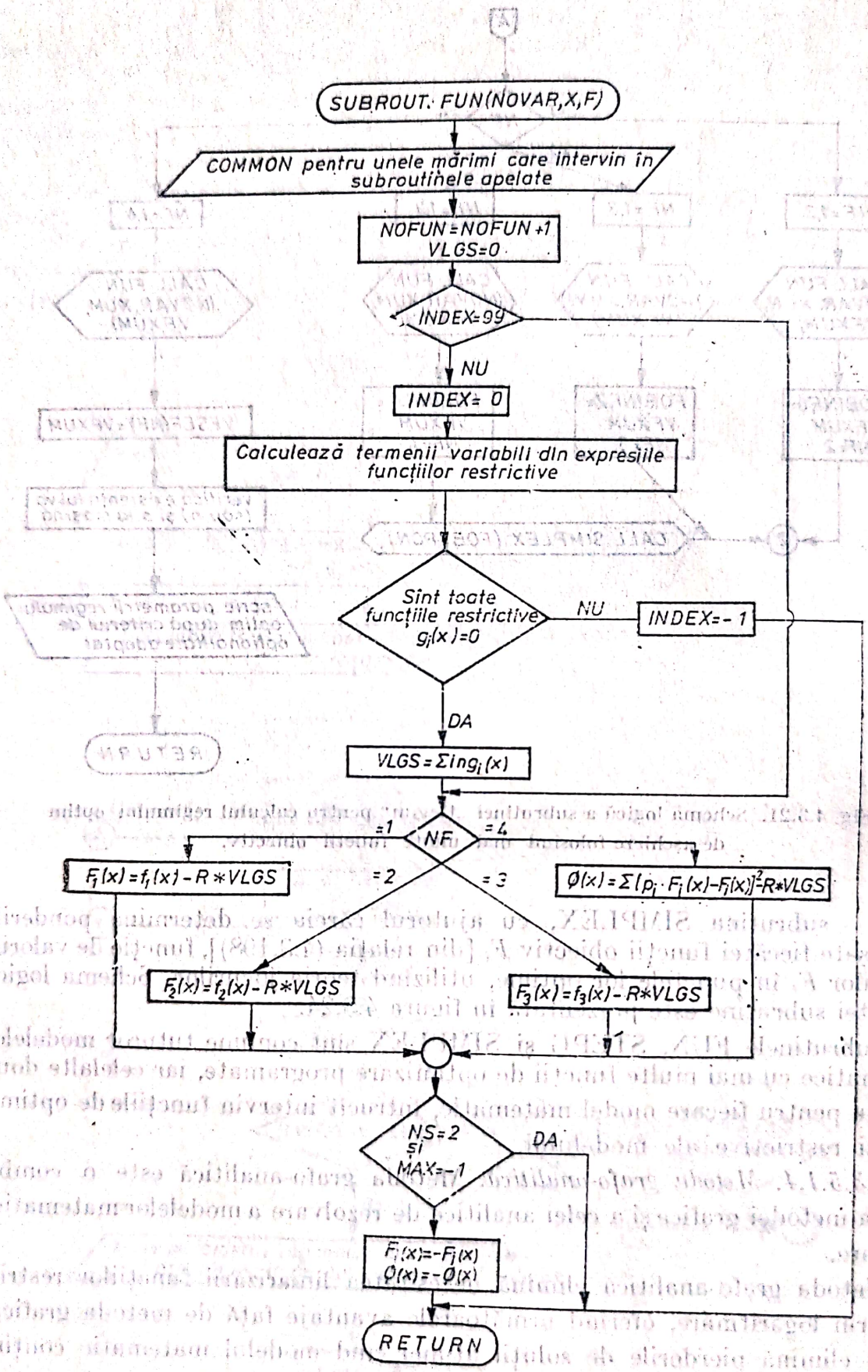


Fig. 4.3.22. Schema logică a subrutinei FUN.

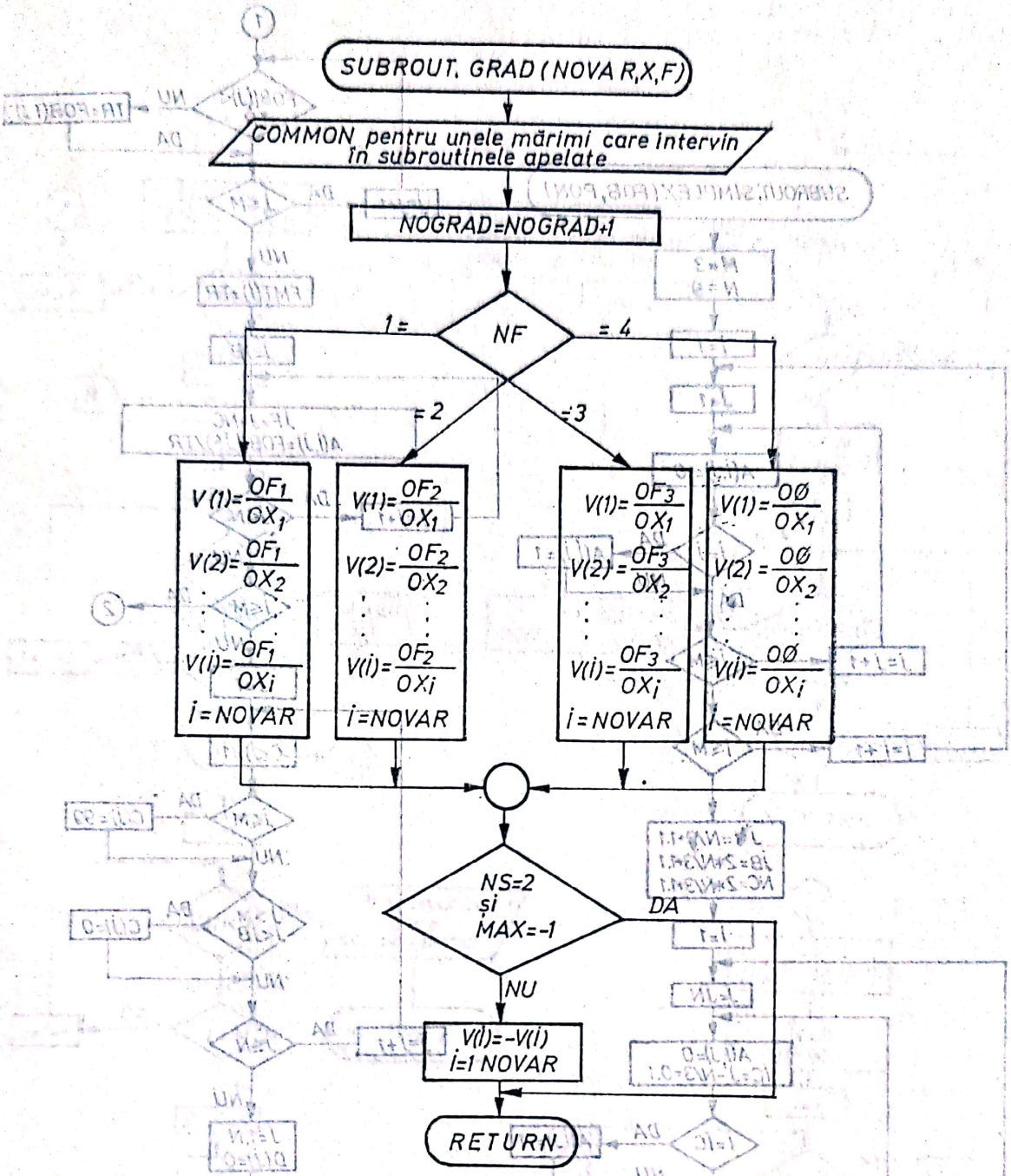


Fig. 4.3.23. Schema logică a subrutinei GRAD.

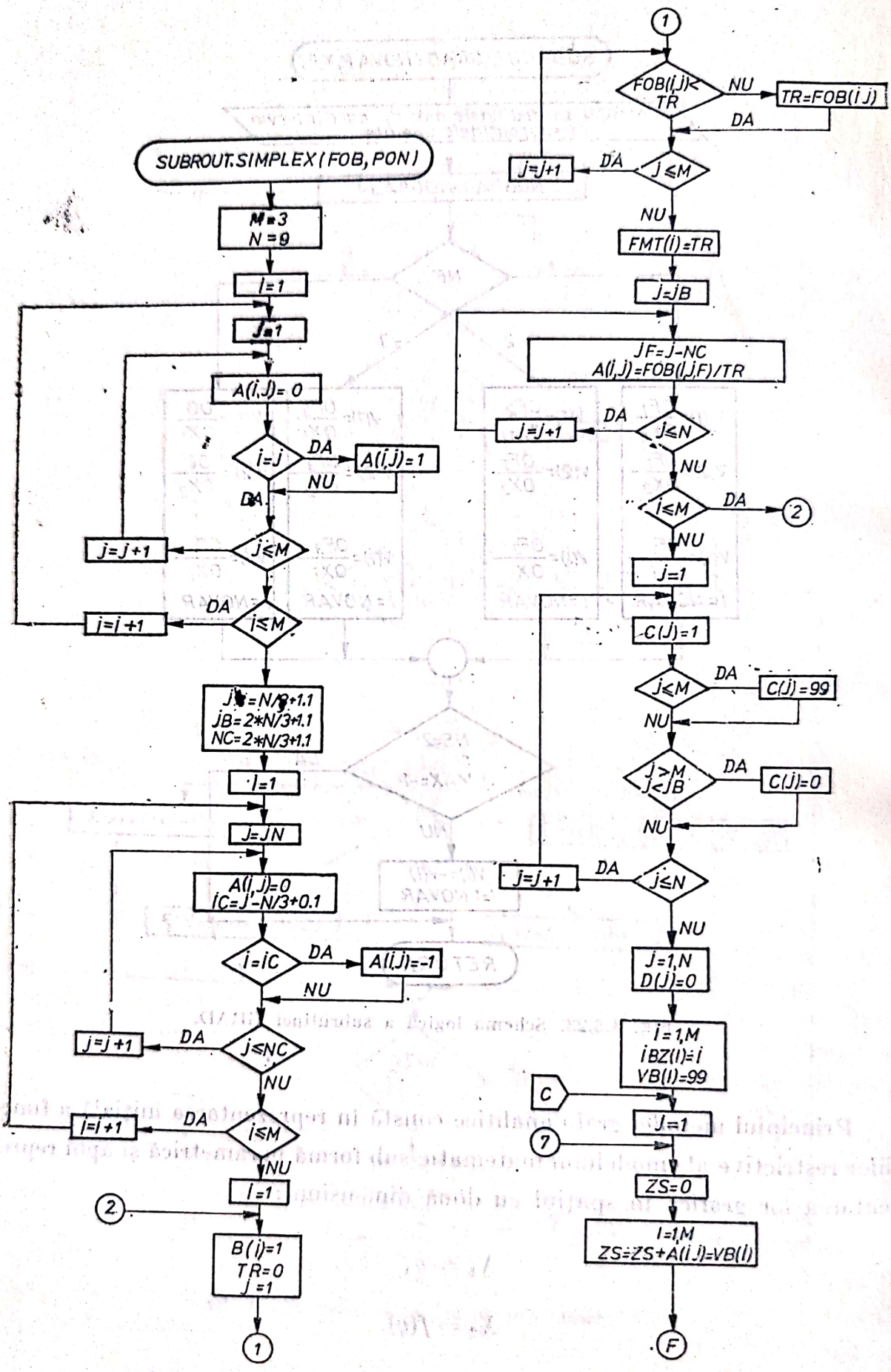
Principiul metodei grafo-analitice constă în reprezentarea inițială a funcțiilor restrictive ale modelului matematic sub formă parametrică și apoi reprezentarea lor grafică în spațiul cu două dimensiuni:

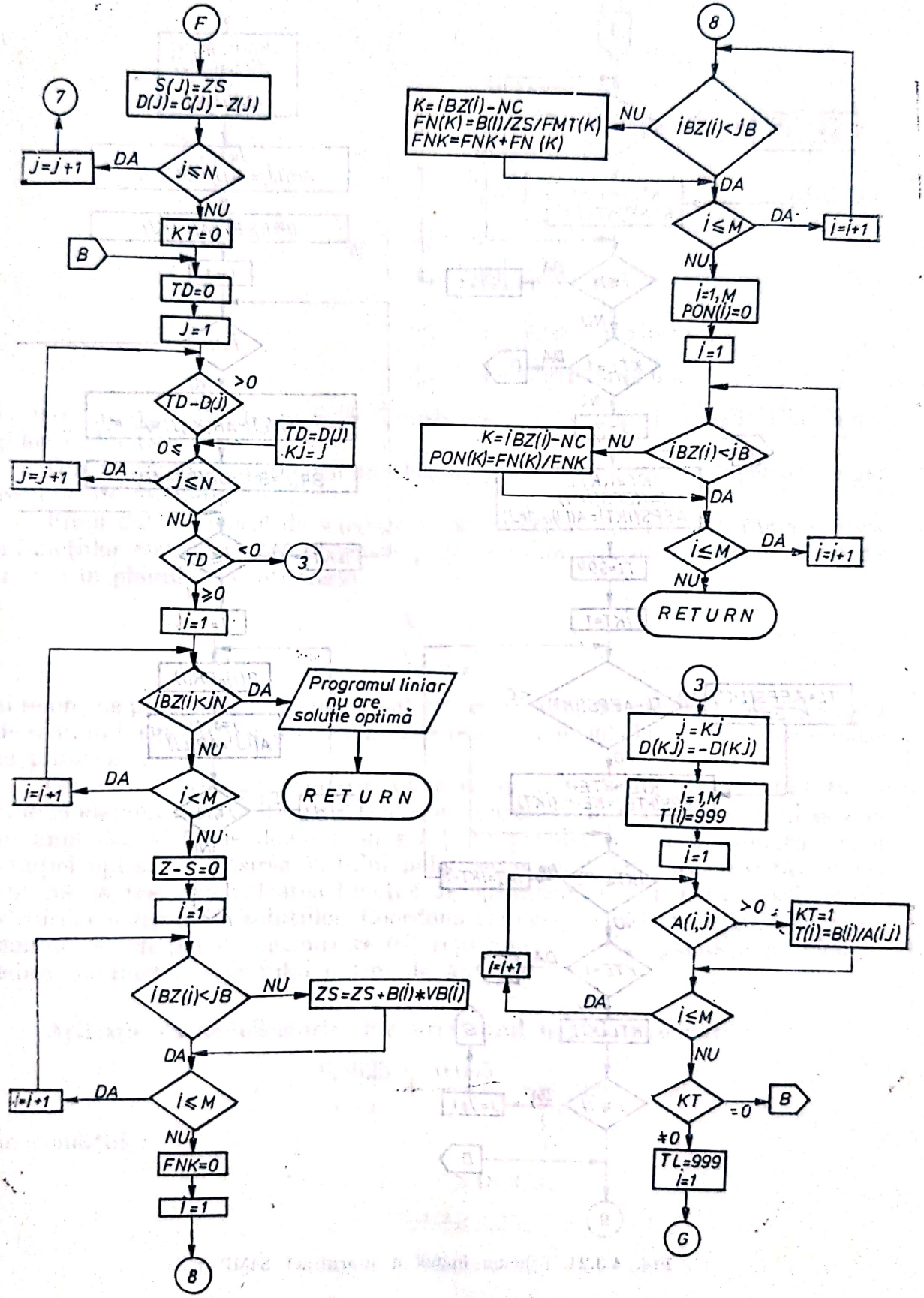
$$X_1 = q;$$

$$X_2 = f(q).$$

Reprezentarea grafică se face manual sau cu calculatorul.

Scanned with OKEN Scanner


SUBROUT.SIMPLEX(FOB,PON)
M=3
N=9
I=1
J=1
A(I,J)=0
I=J
DA
A(I,J)=1
NU
DA
J=J+1
J≤M
DA
I=I+1
I≤M
JN=N/3+1.1
JB=2*N/3+1.1
NC=2*N/3+1.1
I=1
J=JN
A(I,J)=0
IC=J-N/3+0.1
I=IC
DA
A(I,J)=-1
NU
J=J+1
DA
J≤NC
NU
I=I+1
DA
I≤M
NU
I=1
2
B(I)=1
TR=0
J=1
1
FOB(I,J)<TR
NU
TR=FOB(I,J)
DA
J=J+1
DA
J≤M
NU
FMT(I)=TR
J=JB
JF=J-NC
A(I,J)=FOB(I,JF)/TR
J=J+1
DA
J≤N
NU
I≤M
DA
2
NU
J=1
C(J)=1
J≤M
DA
C(J)=99
NU
J>M
J<JB
DA
C(J)=0
NU
J=J+1
DA
J≤N
NU
J=1,N
D(J)=0
I=1,M
IBZ(I)=I
VB(I)=99
C
J=1
7
ZS=0
I=1,M
ZS=ZS+A(I,J)=VB(I)
F


F
S(J)=ZS
D(J)=C(J)-Z(J)
7
J=J+1
DA
j≤N
NU
KT=0
B
TD=0
J=1
TD-D(j)
>0
0≤
TD=D(J)
KJ=J
j=j+1
DA
j≤N
NU
TD
<0
3
≥0
i=1
iBZ(i)<jN
DA
Programul liniar nu are soluție optimă
RETURN
NU
i=i+1
DA
i<M
NU
Z-S=0
i=1
iBZ(i)<jB
NU
ZS=ZS+B(i)*VB(i)
DA
i=i+1
DA
i≤M
NU
FNK=0
i=1
8
8
K=iBZ(i)-NC
FN(K)=B(I)/ZS/FMT(K)
FNK=FNK+FN(K)
NU
iBZ(i)<jB
DA
i≤M
DA
i=i+1
NU
i=1,M
PON(I)=0
i=1
K=iBZ(i)-NC
PON(K)=FN(K)/FNK
NU
iBZ(i)<jB
DA
i≤M
DA
i=i+1
NU
RETURN
3
j=KJ
D(KJ)=-D(KJ)
i=1,M
T(i)=999
i=1
A(i,j)
>0
KT=1
T(i)=B(i)/A(i,j)
i=i+1
DA
i≤M
NU
KT
=0
B
≠0
TL=999
i=1
G

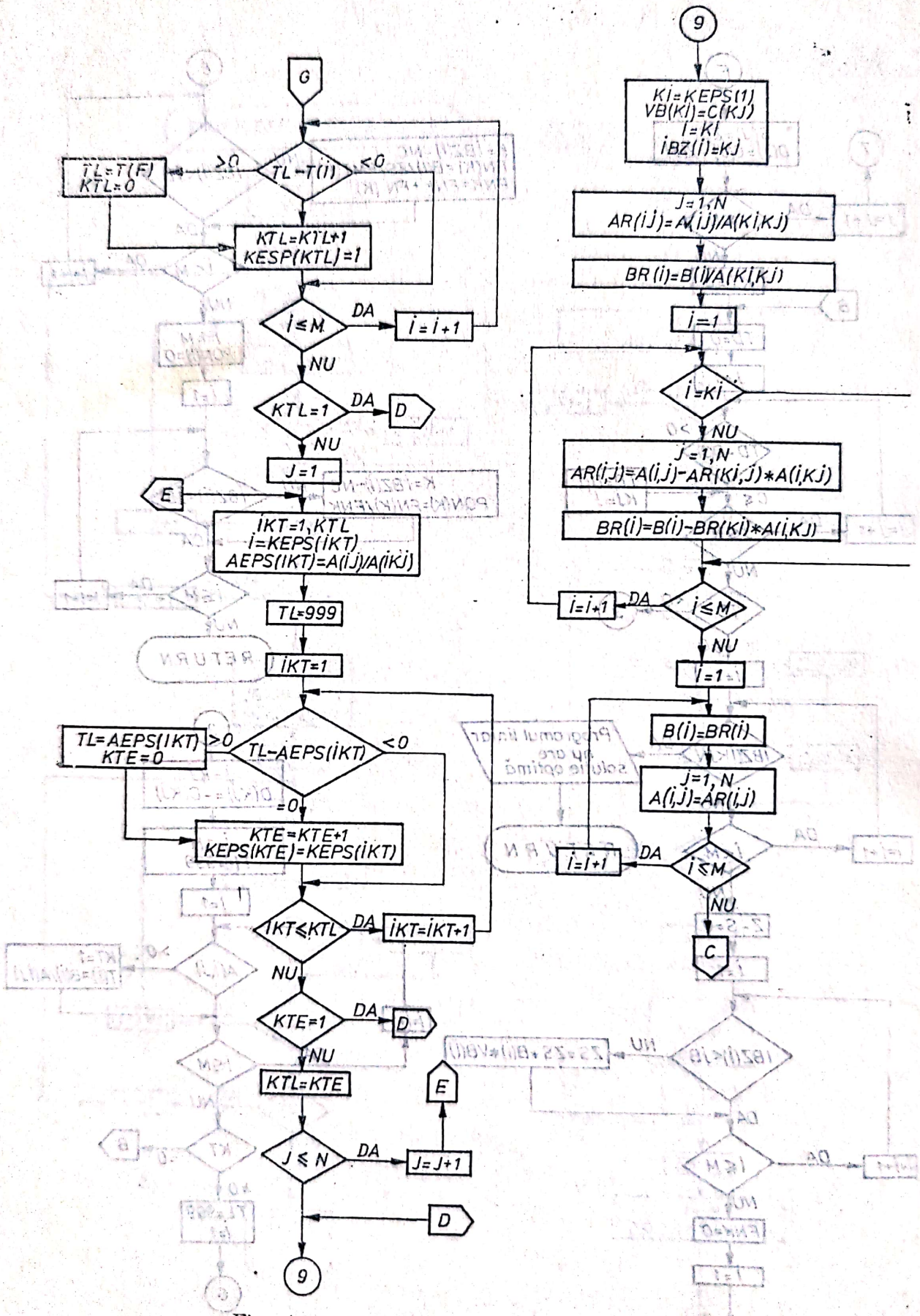


Fig. 4.3.24. Schema logică a subrutinei SIMPLEX.

Scanned with OKEN Scanner

Aplicînd această metodă, sistemul de restricții a modelului matematic din forma lui inițială devine:

$$
\begin{aligned}
R_1 &\begin{cases} X_1 = q \\ X_2 = \dfrac{a_1}{q} \end{cases} \\
R_2 &\begin{cases} X_1 = q \\ X_2 = \left(\dfrac{a_2}{q^{\alpha}}\right)^{\beta} \end{cases} \\
&\vdots \\
R_i &\begin{cases} X_1 = q \\ X_2 = f(C_i, q^{\alpha_i}) \end{cases} \\
&\vdots \\
& X_1 = q \geqslant \text{limita minimă}; \\
& X_1 = q \leqslant \text{limita maximă},
\end{aligned}
\qquad (4.3.190)
$$

în care: a_1, a_2, ..., C_i reprezintă valorile membrului doi al inegalităților funcțiilor restrictive.

Din sistemul de restricții se elimină restricțiile care nu îngrădesc rigid regimul de așchiere.

Fiind dat domeniul de variație a parametrului X_1, reprezentarea grafică a funcțiilor restrictive transformate parametric în relațiile de mai sus devine ușoară în planul de coordonate,

$$X_1 = q$$
$$X_2 = f(q)$$

și se obține poligonul, sau mai corect domeniul soluțiilor posibile, ținînd seama de semnul inegalităților din sistemul de restricții inițial al modelului matematic al problemei.

Conform teoriei programării convexe, potrivit căreia, atunci cînd funcțiile modelului matematic sînt convexe, soluția optimă a programului se află în unul din vîrfurile domeniului soluțiilor problemei. Pentru determinarea soluției optime și găsirea vîrfului poligonului soluțiilor care asigură soluția optimă se testează valoarea funcției de optimizare (C), pentru coordonatele vîrfurilor poligonului soluțiilor. Coordonatele acelui vîrf care asigură valoarea minimă a funcției de optimizare (C) reprezintă soluția optimă a problemei, adică parametrii regimului optim de așchiere.

Aplicație exemplificatorie. Fie următorul model matematic:

$$C = \frac{6{,}8625}{n \cdot s} + \frac{0{,}055}{s} \rightarrow \text{minim},$$

în condițiile:

$$
\begin{aligned}
R_1&: \; ns \geqslant 18{,}333; \\
R_2&: \; n^{0.75} s^{1/2} \leqslant 3{,}25; \\
R_{3\text{-}4}&: \; 0{,}046 \leqslant s \leqslant 0{,}25; \\
R_{5\text{-}6}&: \; 12 \leqslant n \leqslant 1050.
\end{aligned}
$$

Scanned with OKEN Scanner

Făcînd substituțiile conform metodei prezentate anterior, se obține următorul sistem de restricții:

$$R_1 \begin{cases} n = q \\ s = \dfrac{18{,}333}{q} \end{cases}$$

$$R_2 \begin{cases} n = q \\ s = \left(\dfrac{3{,}25}{q^{0{,}75}}\right)^2 \end{cases}$$

$$R_3\colon\ s = 0{,}046$$

$$R_4\colon\ s = 0{,}25$$

$$R_5\colon\ n = 12$$

$$R_6\colon\ n = 1050$$

Reprezentarea grafică a modelului matematic obținut este prezentată în figura 4.3.25.

Prin testare s-a găsit, că vîrful A este cel în care valoarea funcției de optimizare (C) este minimă. Acest vîrf al soluțiilor admisibile are coordonatele:

$$s = 0{,}25 \text{ mm/rot};$$

$$n = \frac{18{,}333}{s} = \frac{18{,}333}{0{,}25} = 73{,}333 \text{ rot/min.}$$

Introducînd aceste valori în relația funcției de optimizare se obține:

$$C = \frac{6{,}8625}{73{,}333 \cdot 0{,}25} + \frac{0{,}055}{0{,}25} = 0{,}594 \text{ lei/buc. și operație.}$$

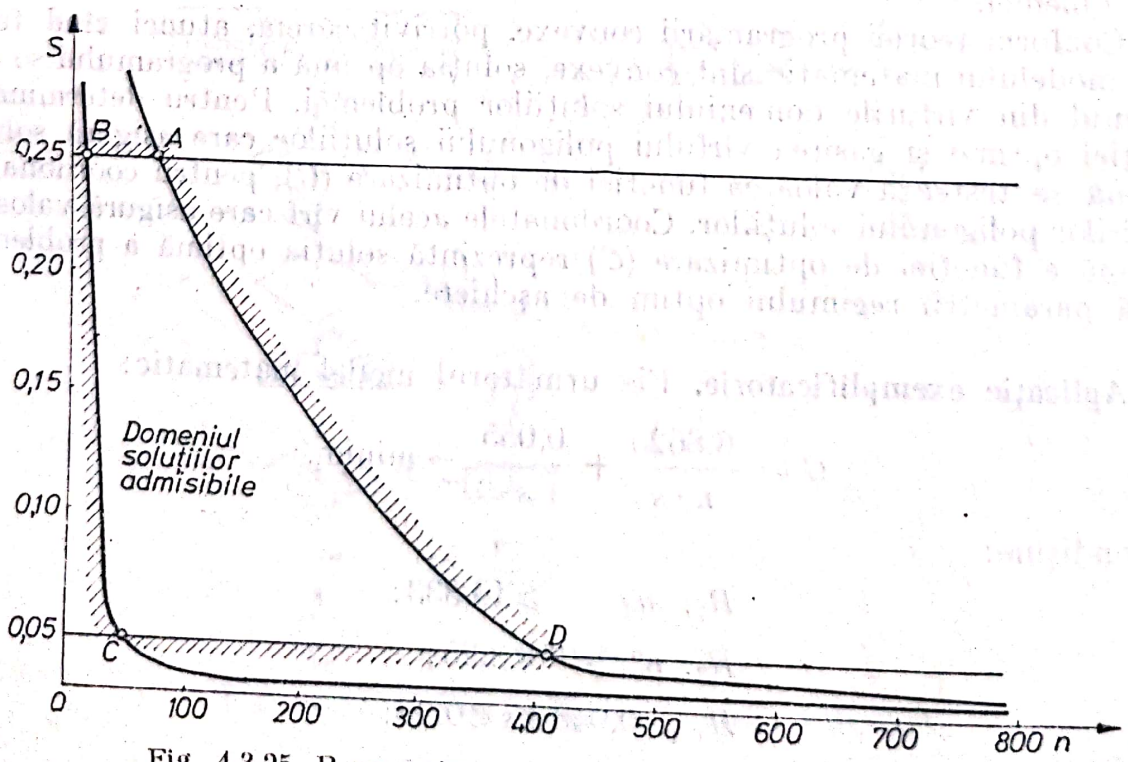


Fig. 4.3.25. Reprezentarea grafică a modelului matematic.

Scanned with OKEN Scanner

Calculînd valoarea funcției de optimizare (C) pentru diferite puncte ale poligonului soluțiilor problemei $ABCDA$ (v. fig. 4.3.25), se constată că valorile cele mai mici ale costului se obțin pentru punctele de pe curba AD. Această curbă este denumită „curbă de optimizare". Această curbă, prin coordonatele punctelor de pe ea, asigură cele mai mici valori ale funcției de optimizare în raport cu valorile obținute pentru celelalte puncte aparținînd domeniului soluțiilor problemei.

Curba de optimizare, oricare ar fi valoarea parametrului n, admite un singur punct de optimizare, punctul A, pentru ale cărui coordonate funcția de optimizare este minimă.

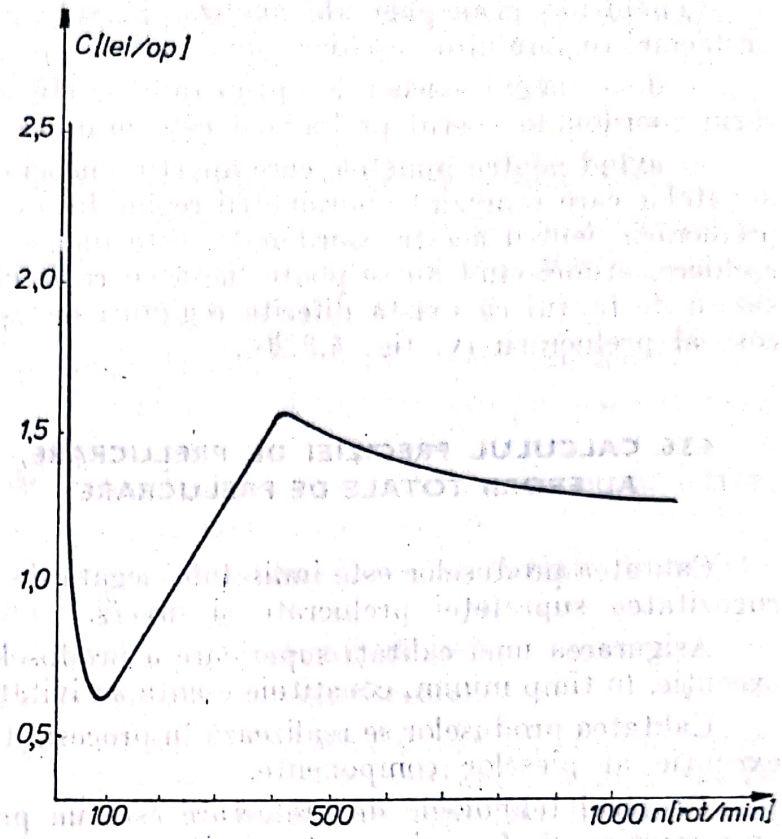


Fig. 4.3.26. Dependența costului prelucrării de turația n de-a lungul curbei de optimizare.

Avînd în vedere faptul, că curba de optimizare AD se obține prin intersectarea curbelor definite de relațiile restrictive R_1 și R_4, adică:

$$n = q$$
$$s = \frac{18{,}333}{q},$$

se analizează în continuare variația valorii costului prelucrării (C) definit de relația:

$$C = \frac{2{,}717 \cdot 2{,}52576}{n \cdot s} + \frac{0{,}055}{s},$$

pentru punctele aflate pe curba de optimizare AD. Rezultatele obținute au fost centralizate în tabelul 4.3.2.

Tabelul 4.3.2

Valorile costului prelucrării C pentru diferite puncte aflate pe curba de optimizare AD

$n = q$	12	25	50	73,333	100	200	398,3	500	800	1 050
$s = f_1(q)$	0,25	0,25	0,25	0,25	0,183	0,091	0,046	0,046	0,046	0,046
$C = f_2(n \cdot s)$	2,5075	1,318	0,769	0,5943	0,6755	0,9815	1,5697	1,494	1,3821	1,338

În figura 4.3.26 este reprezentată curba de variație a costului prelucrării de-a lungul curbei de optimizare.

Scanned with OKEN Scanner

Concluziile principale ale analizei făcute asupra poligonului soluțiilor problemei regimului de așchiere sînt:

— de-a lungul curbei de optimizare există un singur punct pentru ale cărui coordonate costul prelucrării este minim;

— avînd pentru punctele care aparțin curbei de optimizare valorile coordonatelor care reprezintă parametrii regimului de așchiere, precum și costul prelucrării pentru aceste coordonate, este foarte ușor a se alege regimul de așchiere, atunci cînd nu se poate lucra cu regimul de așchiere optim, ținînd seama de faptul că există diferite regimuri de așchiere care asigură același cost al prelucrării (v. fig. 4.3.26).

4.3.6. CALCULUL PRECIZIEI DE PRELUCRARE, RESPECTIV AL ERORII TOTALE DE PRELUCRARE

Calitatea produselor este indisolubil legată de precizia de prelucrare și de rugozitatea suprafeței prelucrate și invers.

Asigurarea unei calități superioare a produselor cu cheltuieli minime de execuție, în timp minim, constituie esența activității inginerului tehnolog.

Calitatea produselor se realizează în procesul tehnologic de prelucrare sau execuție al pieselor componente.

Procesul tehnologic de prelucrare este un proces deosebit de complex, cu o mulțime de factori cu acțiuni diferite ca valori și sens, pe care inginerul tehnolog trebuie să le cunoască, să le prognozeze și să le corecteze la nevoie, pentru a asigura obținerea în final a produsului cu toate cerințele impuse de proiectant.

Calitatea unui produs, așa cum s-a arătat, este funcție directă de calitatea pieselor care-l compun.

Calitatea, privită prin prisma preciziei dimensionale și a rugozității suprafeței prelucrate, este funcție la rîndul său de mărimea influenței factorilor care acționează în procesul de prelucrare.

4.3.6.1. **Factorii care influențează asupra preciziei dimensionale și de formă geometrică a pieselor.** Multitudinea de factori care influențează asupra preciziei dimensionale și de formă geometrică a pieselor care se prelucrează, pot fi grupați în două mari categorii și anume:

I — factori dependenți de regimul de așchiere;

II — factori independenți de regimul de așchiere.

I. Factorii care influențează asupra preciziei de prelucrare, dependenți de regimul de așchiere sînt:

1 — deformația termică a sistemului tehnologic MUPS;

2 — uzura sculelor pe fața lor de așezare, sau uzura în direcția normală pe suprafața care se prelucrează;

3 — deformația elastică a sistemului tehnologic MUPS;

4 — tensiunile interne care apar în timpul prelucrării prin așchiere;

5 — autovibrațiile;

6 — forța de așchiere;

7 — parametrii regimului de așchiere.

Scanned with OKEN Scanner

II. Factorii care influențează asupra preciziei de prelucrare independenți de regimul de așchiere sînt următorii:

1 — starea calitativă a mașinii-unelte care cuprinde:

- erorile geometrice ale mașinii-unelte;
- ovalitatea fusurilor arborelui principal al mașinii-unelte;
- erorile de pas ale șurubului conducător al mașinii-unelte;

2 — calitatea semifabricatului primar și intermediar privind:

- abaterile de la forma geometrică corectă;
- abaterile dimensionale (variația adaosului de prelucrare);

3 — erorile de poziționare ale piesei în dispozitiv sau pe masa mașinii-unelte;

4 — erorile dimensionale și de formă ale sculelor cu dimensiuni fixe;

5 — precizia instrumentelor de măsură și de control;

6 — tensiunile interne remanente din semifabricatele forjate, matrițate, turnate, sudate și prelucrate;

7 — eroarea de reglaj la dimensiune a mașinii-unelte;

8 — gradul de atenție și de calificare al muncitorului.

Factorii din grupa *I*, precum și factorii *1*, *3*, *4* și *5* din grupa *II* au un caracter sistematic, iar cei din grupa *II* exclusiv cei enumerați anterior, au un caracter întîmplător și deci însumarea acțiunii lor se face după legi diferite.

Asupra erorii totale de prelucrare, respectiv asupra preciziei dimensionale și de formă geometrică a piesei, fiecare din factorii enumerați are o pondere diferită și sens diferit (adică unii conduc la creșterea dimensiunii suprafeței care se prelucrează, iar alții la micșorarea acesteia).

Datorită acestui lucru, pentru a se calcula cu precizie mărimea erorii totale de prelucrare și pentru a se putea acționa asupra fiecăruia dintre ei, trebuie să se cunoască legea după care acționează fiecare factor în parte.

În literatura de specialitate există relativ puține lucrări (și acelea disparate) care fac o delimitare precisă a caracterului factorilor respectivi, ceea ce conduce la valori inexacte ale erorii totale de prelucrare.

În afara celor precizate mai sus, la studiul teoretic al influenței diverșilor factori asupra preciziei de prelucrare, datorită complexității sistemului tehnologic MDPS și a interacțiunii factorilor care iau parte în procesul de prelucrare a piesei s-au admis mai multe sau mai puține ipoteze simplificatoare, ceea ce a făcut ca relațiile de calcul obținute să nu conducă la rezultate exacte (cît mai apropiate de cele reale obținute în urma prelucrării).

Datorită acestor stări de fapt reale, deocamdată, calea cea mai sigură prin care se pot obține relații satisfăcătoare de calcul al preciziei de prelucrare este cercetarea experimentală.

Baze teoretice de calcul pentru studiul influenței parametrilor regimului de așchiere asupra factorilor care afectează precizia de prelucrare. Se cunoaște că studiul influenței diverșilor factori (sistematici și întîmplători) asupra preciziei de prelucrare se poate face folosind curbele de distribuție dimensională sau diagramele de precizie.

Dar, o astfel de metodică de lucru nu este suficient de edificatoare în privința desfășurării procesului de producție.

Controlul statistic efectuat, în general, după desfășurarea unui anumit lot de piese de probă permite să se constate care este precizia lotului de piese prelucrate, iar pe baza trasării curbelor de dispersie a dimensiunilor se poate

Scanned with OKEN Scanner

preciza mărimea corecției ce trebuie efectuată asupra poziției relative dintre sistemul sculei și sistemul piesei pentru ca piesele din lotul ce urmează să se execute în condiții similare lotului precedent, să aibă dimensiunile în limitele cîmpului de toleranță impus.

Acest mod de studiu al preciziei procesului de prelucrare prin așchiere nu permite să se descopere care anume factori și în ce măsură ei influențează precizia de prelucrare și care sînt căile concrete cele mai indicate pentru obținerea acesteia în limitele impuse.

Din această cauză, este necesară determinarea, pe cît posibil, pe cale analitică a influenței factorilor care afectează precizia de prelucrare și analiza ponderii fiecăruia în mărimea erorii totale de prelucrare.

Pentru aceasta este necesar ca în practica cercetării sistemelor tehnologice să se exprime influența diverșilor parametri variabili sub formă cantitativă, pornindu-se de la un număr suficient de date experimentale.

Deseori, în practica experimentală, pot să apară o serie de date afectate de erori „grosolane", fie de măsurare, fie de prelucrare care pot denatura rezultatele cercetării.

Pentru obținerea datelor experimentale exacte, necesare pentru trasarea anumitor diagrame de influență, se poate folosi drept metodă de verificare a certitudinii valorilor măsurate, așa-numita metodă Grebbs, care constă în determinarea și compararea raportului t_k dat de relația:

$$t_k = \frac{|x_i' - \overline{X}|}{\sigma}, \tag{4.3.191}$$

în care: x_i' reprezintă cea mai mare sau cea mai mică valoare a datelor experimentale măsurate; $\overline{X}$ — mărimea mediei aritmetice a valorilor experimentale măsurate ale parametrului x_i cercetat; σ — abaterea medie pătratică a valorilor măsurate.

Parametrii $\overline{X}$ și σ se calculează cu următoarele relații:

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i; \tag{4.3.192}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{X})^2}, \tag{4.3.193}$$

în care n reprezintă numărul experimentărilor.

În conformitate cu metoda Grebbs, pentru un procent de risc $p = 5\%$, mărimea t_k dată de relația (4.3.191) se compară cu mărimea critică t_k' dată în tabelul 4.3.3, funcție de n.

Tabelul 4.3.3

Valoarea mărimii critice t_k'

n	20	25	30	35	40	50	75	100
t_k'	2,620	2,717	2,792	2,839	2,904	2,956	3,102	3,187

Dacă $t_k' \leqslant t_k$, mărimea x_i' trebuie eliminată din datele experimentale.

După obținerea datelor experimentale neafectate de erori grosolane, legătura reciprocă dintre parametrii de intrare în procesul de așchiere (v, s, t)

și cei de ieșire (deformațiile termice, uzura sculei pe fața de așezare etc.) se poate determina cu ajutorul *analizei de corelație.*

Sub formă analitică, legătura de corelație se scrie, de obicei, în felul următor:

$$\bar{y}_x = f(x), \tag{4.3.194}$$

unde x este mărimea argumentului (factorului) variabil; $\bar{y}_x$ — mărimea mediei aritmetice a șirului vectorilor de distribuție, corespunzătoare valorilor argumentului x.

Evaluarea legăturii exprimată prin relația (4.3.194) se realizează folosind expresiile coeficientului de corelație r_{xy} și a raportului de corelație η_y:

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}, \tag{4.3.195}$$

respectiv

$$\eta_y = \frac{\sigma_{\bar{y}x}}{\sigma_y}, \tag{4.3.196}$$

în care: σ_x, σ_y reprezintă abaterile medii pătratice a mărimilor x și y; $\sigma_{\bar{y}x}$ — abaterea medie pătratică a mărimii medii aritmetice convenționale $\bar{y}_x$ de la media generală $\bar{Y}$; C_{xy} — covarianța parametrilor x și y dată de relația:

$$C_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i \sum_{i=1}^{n} n_{i_{xy}} y_i\right)}{n} - \bar{X}\bar{Y}, \tag{4.3.197}$$

unde $n_{i_{xy}}$ este frecvența apariției perechii mărimilor x și y.

În vederea verificării certitudinii valorilor r_{xy} și η_y se determină erorile de baze ale acestora cu relațiile:

$$\Delta r_{xy} = \pm \frac{1 - r_{xy}^2}{\sqrt{n}}, \tag{4.3.198}$$

respectiv:

$$\Delta \eta_y = \pm \frac{1 - \eta_y^2}{\sqrt{n}}. \tag{4.3.199}$$

Dacă sînt îndeplinite condițiile:

$$\frac{r_{xy}}{\Delta r_{xy}} > 4; \quad \frac{\eta_y}{\Delta \eta_y} > 4, \tag{4.3.200}$$

atunci se poate socoti că certitudinea valorilor lui r_{xy} și η_y este dovedită.

Pentru determinarea tipului de legătură dintre mărimile y și x se folosesc proprietățile coeficientului și raportului de corelație date în tabelul 4.3.4.

Pentru analiza unui anumit proces tehnologic din punct de vedere al preciziei de prelucrare, este necesar a descoperi nu numai tipul de legătură dintre diferiți parametri și factorul cercetat, ci și expresia analitică a acestuia.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.3.4

Proprietățile coeficientului și raportului de corelație

r_{xy}	η_y	Tipul de legătură
$r_{xy} = \pm 1$	—	funcție liniară
$r_{xy} = 0$	$\eta_y = 1$	funcție curbilinie
$r_{xy} = 0$	$\eta_y = 0$	nu există
$\lvert r_{xy} \rvert = 0$	$\eta_y < 1$	corelație curbilinie
$\lvert r_{xy} \rvert = \eta_y$	—	corelație liniară precisă
$\lvert r_{xy} \rvert = 0$	$\eta_y < 1$	corelație liniară

În acest scop, după determinarea tipului de legătură, utilizînd cele prezentate în tabelul 4.3.4 și a diverselor reprezentări grafice, pentru determinarea coeficienților din expresiile analitice adoptate, se utilizează în general cunoscuta metodă a celor mai mici pătrate.

Studii teoretice și experimentale, bazate pe cele prezentate mai sus au fost îndreptate în primul rînd asupra deformației termice și a uzurii sculei, ca factori cu ponderea cea mai importantă în eroarea totală de prelucrare pentru orice procedeu de prelucrare.

Pentru acești doi factori, în cazul prelucrării prin strunjire (deoarece este procedeul cel mai răspîndit) s-au determinat (după cum vom prezenta ulterior), relații analitice mai complexe de calcul care să cuprindă influența tuturor parametrilor regimului de așchiere, pentru optimizarea acestora și din punct de vedere al preciziei de prelucrare.

4.3.6.1.1 Factorii care influențează asupra preciziei de prelucrare, dependenți de regimul de așchiere. ● Deformația termică a sistemului tehnologic MUPS și influența acesteia asupra preciziei de prelucrare:

a — deformația termică a sculei (a cuțitului de strung). În timpul procesului de așchiere se încălzesc și se deformează termic toate elementele sistemului tehnologic. Influența cea mai mare asupra preciziei de prelucrare a piesei o are deformația termică a sculei.

De aceea, în cele ce urmează se prezintă mai întîi deformația termică a sculei.

Deoarece strunjirea este procedeul tehnologic de prelucrare a pieselor cel mai răspîndit în întreprinderile constructoare de mașini, cele mai multe și mai complete studii asupra influenței acestui factor asupra preciziei de prelucrare s-au făcut în domeniul prelucrărilor prin strunjire.

Se știe că alungirea termică a unui corp se produce în lungul gradientului de temperatură rezultant. Cunoscîndu-se forma suprafețelor izotermice a cîmpului de temperaturi se poate cunoaște direcția gradientului de temperatură rezultant și deci direcția alungirii termice. Valoarea mărimii alungirii termice este funcție de valoarea temperaturilor cîmpului termic al corpului respectiv.

Deci, pentru a cunoaște direcția și mărimea alungirii termice, trebuie să se cunoască forma suprafețelor izotermice și valorile temperaturilor cîmpului de temperaturi a corpului ce se studiază.

Acestea sînt premisele teoretice care stau la baza studierii deformației termice a cuțitului de strung și a influenței acesteia asupra preciziei de prelucrare la strunjirea de finisare.

Scanned with OKEN Scanner

Studiul deformației termice a cuțitului de strung este strîns legat de procesul complex de transmitere a căldurii în corpul cuțitului.

Ca urmare a alungirii termice a cuțitului în direcția axei OY în timpul procesului de așchiere, forma geometrică a piesei ce se prelucrează va fi diferită de cea care s-ar obține în cazul cînd cuțitul nu s-ar alungi termic. Acest lucru este reprezentat schematic în figura 4.3.27.

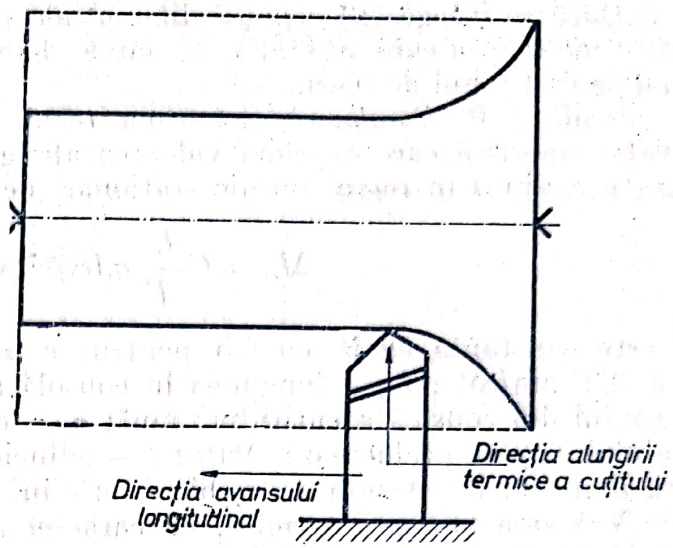


Fig. 4.3.27. Eroarea de formă a piesei provocată de alungirea termică a cuțitului.

Pentru a micșora influența alungirii termice a cuțitului asupra preciziei piesei ce se prelucrează, autorul a făcut o serie de studii teoretice și experimentale în cadrul catedrei de Tehnologia Construcțiilor de Mașini de la Universitatea din Brașov, în urma cărora s-a ajuns la următoarele concluzii:

1) — cînd sursa de căldură pe muchia așchietoare a cuțitului este punctiformă, atunci forma suprafețelor izotermice a cîmpului de temperaturi este sferică cu centrul sferei în vîrful cuțitului.

2) — cînd sursa de căldură pe muchia așchietoare a cuțitului este liniară, atunci forma suprafețelor izotermice a cîmpului de temperaturi este cilindrică cu axa cilindrului în lungul muchiei așchietoare.

Ecuația diferențială a răspîndirii temperaturii în lungul corpului cuțitului cînd sursa de căldură este punctiformă, este următoarea:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{2}{x}\frac{\partial t}{\partial x}\right), \qquad (4.3.201)$$

unde t este temperatura în diferite puncte în lungul corpului cuțitului; τ — timpul după care se măsoară temperatura; a — coeficientul de difuzabilitate termică; x — distanța de la vîrful cuțitului în care se măsoară temperatura.

Dacă sursa de căldură este liniară ecuația diferențială a răspîndirii temperaturii în lungul corpului cuțitului este:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{1}{x}\frac{\partial t}{\partial x}\right). \qquad (4.3.202)$$

Pentru a găsi relațiile care să exprime valoarea temperaturilor în diferite puncte ale cuțitului la diferite intervale de timp τ, trebuie integrate aceste ecuații diferențiale în funcție de condițiile limită și de suprafață.

Dacă se cunoaște relația care exprimă valoarea temperaturii în lungul corpului cuțitului, aceasta se derivează de două ori și se introduce în ecuația diferențială a alungirii termice:

$$d\Delta l = a\alpha x \frac{\partial^2 l(x\tau)}{\partial x^2}\partial\tau, \qquad (4.3.203)$$

unde α este coeficientul de alungire termică.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se integrează ecuația diferențială (4.3.203) în funcție de timpul σ, se obține relația care exprimă valoarea deformației termice a cuțitului în funcție de timpul de lucru.

Prof. *A.P. Socolovschi* în urma rezultatelor experimentale a găsit o relație empirică care exprimă valoarea alungirii termice a cuțitului după ce acesta a ajuns în regim termic staționar, pentru anumite condiții de lucru:

$$\Delta l_{rs} = C \frac{L_p}{F} \sigma_r (ts)^{0.75} \sqrt{v}, \ \mu m. \qquad (4.3.204)$$

C este constantă egală cu 4,5 pentru: $v = 100—200$ m/min, $t \leqslant 1{,}5$ mm, $s \leqslant 0{,}2$ mm/rot.; L_p — lungimea în consolă a cuțitului, mm; F — secțiunea corpului din consolă a cuțitului, mm^2; σ_r — coeficient de rezistență al materialului care se prelucrează, MPa; t — adîncimea de așchiere, mm; s — avansul, mm/rot; v — viteza de așchiere, m/min.

Valoarea alungirii termice, cu caracter aproximativ, în regim nestaționar după un timp de lucru oarecare τ este:

$$\Delta l = \Delta l_{rs} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{4}}\right), \ \mu m. \qquad (4.3.205)$$

Pentru a se micșora la maximum influența deformației termice a cuțitului asupra preciziei de prelucrare, s-a construit de către autor o formă nouă de cuțit de strung la care s-a ajuns pe baza următoarelor studii teoretice și experimentale.

Se cunoaște din teoria conductivității termice, că electronii liberi (care formează „gazul electronic") sînt principalul transmițător al energiei termice de la straturile calde spre cele reci ale unui corp. Fluxul termic al electronilor liberi care pleacă de la sursa caldă în direcția radială întîlnesc în calea lor, cînd au ajuns la suprafața bazei cuțitului, un mediu (aerul) cu un coeficient de conductibilitate termică mult mai mic. Din această cauză o foarte mică parte din ei trec în aer, iar restul se scurg în lungul bazei cuțitului, așa cum se vede în figura 4.3.28, lucru ce face ca în această zonă corpul cuțitului să se încălzească mult mai mult decît în zona lui superioară, fapt ce atrage după sine deformarea formei suprafețelor izotermice.

Pentru zona din apropierea vîrfului cuțitului în care forma suprafețelor izotermice este sferică cu centrul sferei în vîrful cuțitului, gradientul de temperatură rezultant, în lungul căruia se alungește vîrful cuțitului, este îndreptat în lungul bisectoarei AB a unghiului de vîrf. (Dacă unghiul de vîrf este de 90°, atunci $\alpha_1 = 45°$.)

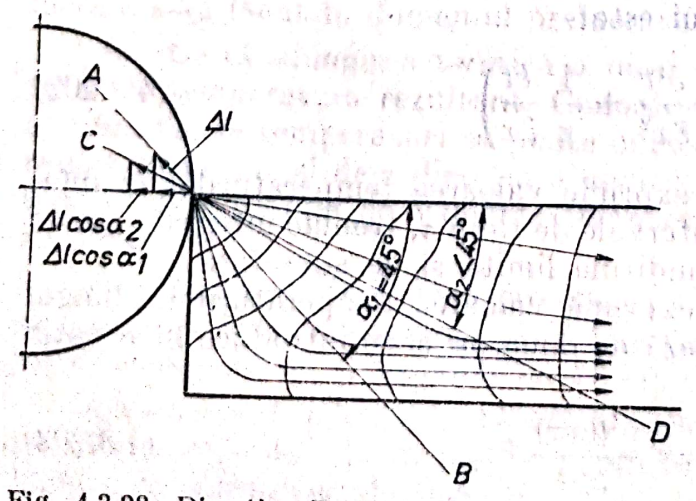


Fig. 4.3.28. Direcția fluxului termic și forma suprafețelor izotermice.

Dacă vîrful cuțitului se deplasează în lungul bisectoarei AB cu Δl, atunci diametrul piesei ce se prelucrează se micșorează cu $2\Delta l \cos \alpha_1$.

Dacă însă vîrful cuțitului se deplasează, de exemplu, cu aceeași mărime însă pe dreapta CD, atunci diametrul piesei ce se prelucrează se micșorează cu $2\Delta l \cos \alpha_2$ unde $\alpha_2 < \alpha_1$, deci $\Delta l \cos \alpha_2 > \Delta l \cos \alpha_1$.

Din cuțitul de strung se alungește termic în direcția axei OY numai partea din consolă a cuțitului.

Pentru a menține forma sferică sau cilindrică a suprafețelor izotermice pe toată lungimea din consolă a cuțitului s-a prelungit în jos partea din consolă, obținîndu-se astfel o nouă formă de cuțit, ca cel din figura 4.3.29 denumit cuțit L.

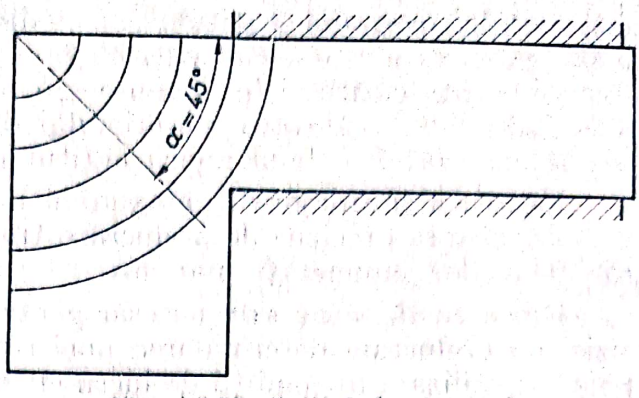


Fig. 4.3.29. Cuțitul de strung L.

Dacă cuțitul de strung se fixează ca de obicei perpendicular pe axa de simetrie a piesei ce se prelucrează, atunci influența alungirii termice a cuțitului asupra preciziei de prelucrare este mult mai mare decît în cazul cînd cuțitul s-ar fixa înclinat cu un unghi oarecare β.

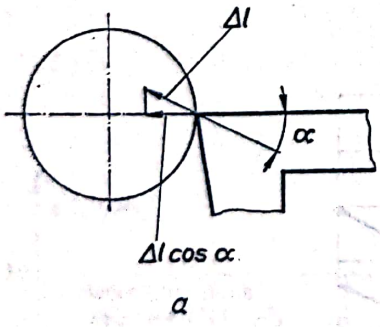
S-a arătat mai sus că diametrul piesei ce se prelucrează se micșorează cu $2\Delta l\cos\alpha$ (fig. 4.3.28).

Dacă cuțitul se fixează înclinat, atunci diametrul piesei ce se prelucrează se micșorează cu $\Delta l\cos\alpha\cos\beta$, așa cum se vede în figura 4.3.30.

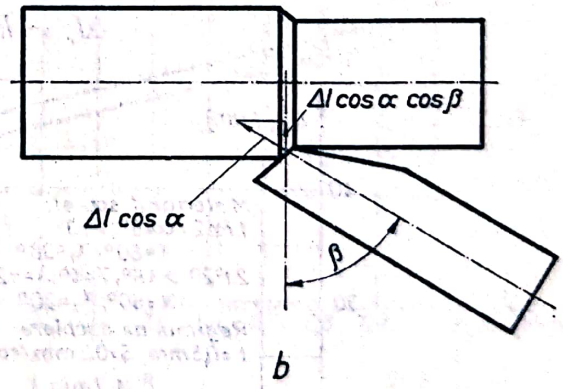
În diagrama din figura 4.3.31 este reprezentată variația alungirii termice pe normala la axa de simetrie a piesei în planul orizontal al cuțitului obișnuit de strung, fixat perpendicular pe axa de simetrie a piesei (curba *1*) și a cuțitului L fixat înclinat cu $\beta = 75°$ (curba 2).

Asupra deformației termice a cuțitului influențează o mulțime de factori legați de:

1 — regimul de așchiere; 2 — geometria părții așchietoare a cuțitului; 3 — secțiunea corpului cuțitului pe porțiunea din consolă; 4 — calitatea



a



b

Fig. 4.3.30. Cuțitul L fixat înclinat cu unghiul β față de suprafața piesei.

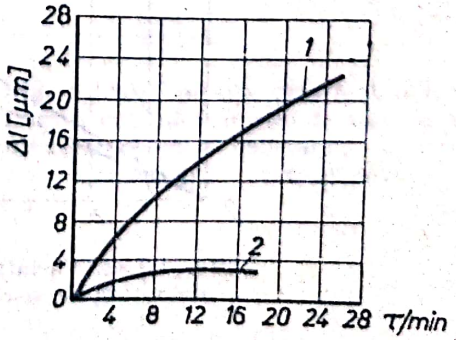


Fig. 4.3.31. Variația alungirii termice a cuțitului pe normala la axa de simetrie a piesei în planul orizontal, la strunjirea: *1* — cu cuțit obișnuit și *2* — cu cuțit L.

Scanned with OKEN Scanner

materialului corpului cuțitului; 5 — dimensiunile plăcuțelor din carbură metalică cu care este armat cuțitul; 6 — modul de fixare a plăcuței din aliaj dur pe corpul cuțitului (prin lipire sau mecanic): 7 — lungimea l în consolă a cuțitului; 8 — calitatea materialului din care este confecționată piesa ce se prelucrează; 9 — felul răcirii cuțitului în timpul strunjirii.

Pentru a se micșora la maximum influența mare a deformației termice a sculei asupra preciziei de prelucrare, trebuie acționat simultan asupra tuturor factorilor enumerați mai sus.

Din această cauză este necesar pentru cunoașterea și îmbunătățirea preciziei de prelucrare determinarea unei relații analitice mai complexe, care să poată fi utilizată în condiții de lucru cît mai diferite și să înlăture dezavantajele relațiilor de calcul cunoscute și prezentate în literatura de specialitate.

Astfel, în relațiile deformației termice ale cuțitului de strung, determinate în [7] intră ca variabile principale mărimile tehnologice de lucru (v, s, t), precum și o caracteristică geometrică a sculei, egală cu raportul dintre lungimea în consolă a cuțitului, l_c, în mm, și aria secțiunii acestuia, A, în mm^2.

Avînd în vedere parametrii variabili luați în studiu, deformația termică a cuțitului de strung, notată cu Δl_c, se poate exprima printr-o relație de forma:

$$\Delta l_c = f\left(v, \frac{l_c}{A}, s, t\right). \qquad (4.3.206)$$

În condițiile menținerii constante a trei din parametrii relației (4.3.206), rezultatele experimentale au condus la dependențele grafice de forma celor prezentate în figurile 4.3.32, 4.3.33, 4.3.34 și 4.3.35.

Pe baza celor prezentate în capitolul 4.3.6.1 s-a dedus că, dependențele analitice ale mărimii Δl_c în conformitate cu graficele din figurile 4.3.32, 4.3.33, 4.3.34 și 4.3.35 sînt de forma:

$$\Delta l_c = k_1 v + b_1, \qquad (4.3.207)$$

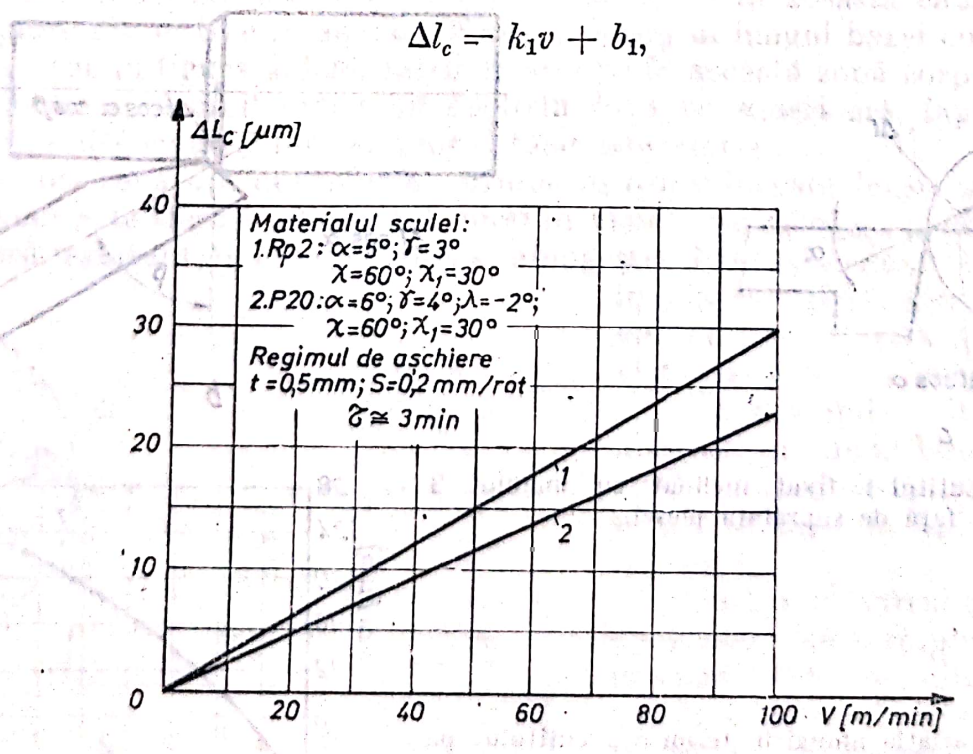


Fig. 4.3.32. Variația deformației termice a cuțitului funcție de viteza de așchiere (l_c/A = constant; t = constant; s = constant).

Scanned with OKEN Scanner

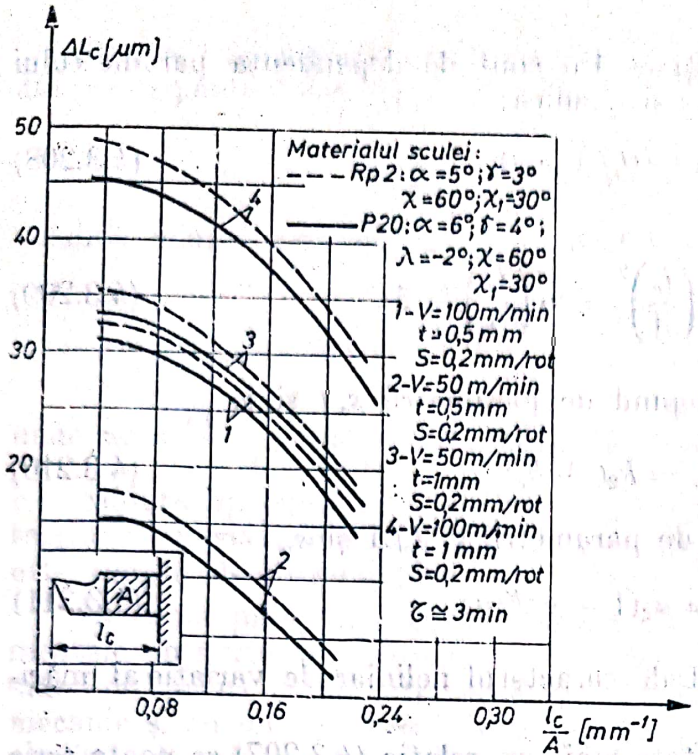


Fig. 4.3.33. Variația deformației termice a cuțitului funcție de raportul l_c/A (v = constant; t = constant; s = constant).

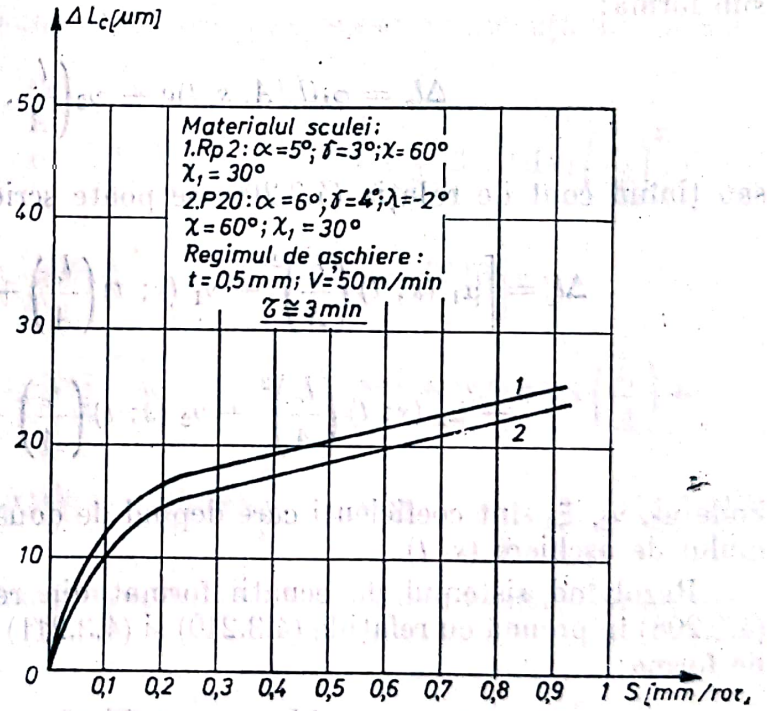


Fig. 4.3.34. Variația deformației termice a cuțitului funcție de avansul de lucru (v = constant; l_c/A = constant; t = constant).

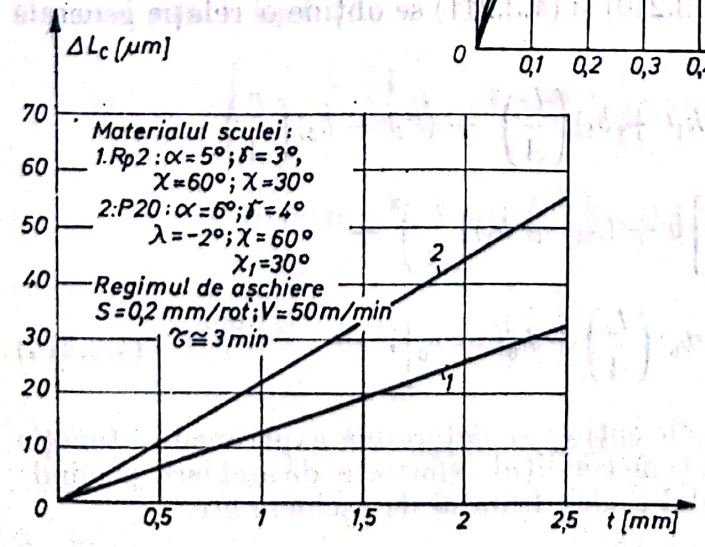


Fig. 4.3.35. Variația deformației termice a cuțitului funcție de adîncimea de așchiere (v = constant; l_c/A = = constant; s = constant).

Scanned with OKEN Scanner

unde k_1, b_1 reprezintă coeficienţi ce ţin cont de dependenţa parametrului Δl_c, de mărimile variabile l_c/A, s şi t, adică:

$$k_1; b_1 = \varphi(l_c/A, s, t), \tag{4.3.208}$$

respectiv

$$\Delta l_c = \mu_1 \left(\frac{l_c}{A}\right)^2 + \nu_1 \left(\frac{l_c}{A}\right) + \xi_1, \tag{4.3.209}$$

μ_1, ν_1, ξ_1 sînt coeficienţi care depind de parametrii s, t şi v,

$$\Delta l_c = k_2 t + b_2; \tag{4.3.210}$$

k_2, b_2 sînt coeficienţi ce depind de parametrii v, l_c/A şi s,

$$\Delta l_c = a_2(1 - e^{-k' s_1}); \tag{4.3.211}$$

a_2, k_1 sînt coeficienţi ce ţin cont de caracterul neliniar de variaţie al mărimii Δl_c.

Avînd în vedere cele prezentate mai sus, relaţia (4.3.207) se poate scrie sub forma:

$$\Delta l_c = \varphi_1(l_c/A, s, t)v + \varphi_2\left(\frac{l_c}{A}, s, t\right), \tag{4.3.212}$$

sau ţinînd cont de relaţia (4.3.209) se poate scrie că:

$$\Delta l_c = \left[\mu_1 (s; t)\left(\frac{l_c}{A}\right)^2 + \nu_1 (s; t)\left(\frac{l_c}{A}\right) + \xi_1 (s; t)\right] v +$$

$$+ \mu_2 (s; t)\left(\frac{l_c}{A}\right)^2 + \nu_2 (s; t)\left(\frac{l_c}{A}\right) + \xi_2 (s; t), \tag{4.3.213}$$

unde μ_2, ν_2, ξ_2 sînt coeficienţi care depind de două mărimi variabile ale regimului de aşchiere (s, t).

Rezolvînd sistemul de ecuaţii format din relaţiile (4.3.206), (4.3.207), (4.3.208) împreună cu relaţiile (4.3.210) şi (4.3.211) se obţine o relaţie generală de forma:

$$\Delta l_c = (1 - e^{-k' \cdot s}) \left\{ \left[(k_1 t + b_1)\left(\frac{l_c}{A}\right)^2 + (k_2 t + b_2)\left(\frac{l_c}{A}\right) + \right.\right.$$

$$\left. + k_3 t + b_3 \right] v + (k_4 t + b_4)\left(\frac{l_c}{A}\right)^2 +$$

$$\left. + k_5 t + b_5)\left(\frac{l_c}{A}\right) + k_6 t + b_6 \right\}, \tag{4.3.214}$$

unde k', $k_1 \div k_6$, $b_1 \div b_6$ sînt coeficienţi ce se determină experimental funcţie de parametrii v, l_c/A, s, t, precum şi de condiţiile concrete de aşchiere privind: materialul de prelucrat, materialul sculei, lichidul de aşchiere etc.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a determina deformaţia termică a cuţitului de strung la un moment dat τ, se poate folosi relaţia:

$$\Delta l_{c.r.ns.} = \Delta l_c(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_0}}), \qquad (4.3.215)$$

valabilă pentru prelucrarea prin strunjire fără întreruperi şi respectiv:

$$\Delta l_{c.r.ns.} = \Delta l_c\left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_0}}\right) \cdot \frac{\tau_{bm}}{\tau_{bm} + \tau_{intr}}, \qquad (4.3.216)$$

unde $\tau_0 = \frac{m \cdot c}{\lambda \cdot A}$, reprezintă o constantă termică a sculei (m — masa sculei; c — căldura specifică; λ — coeficient de transmitere a căldurii; A — aria secţiunii transversale a cuţitului); τ_{bm} — timpul de bază de maşină, iar τ_{intr} este timpul de întrerupere.

În urma prelucrării (după metodica prezentată) a rezultatelor experimentale obţinute la prelucrarea prin strunjire fără lichid de aşchiere, a trei mărci de oţeluri, cu un cuţit armat cu plăcuţă de carbură metalică P20 fixată mecanic şi cu un cuţit din oţel rapid Rp2, s-au obţinut următoarele relaţii analitice de calcul a deformaţiei termice a cuţitului de strung:

1 — la prelucrarea oţelului OLC45 cu cuţit armat cu plăcuţă din carbură metalică P20:

$$\Delta l_{c.r.ns.} = \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_0}}\right)(1 - e^{-8,9587\,s})\left\{\left[(-23,5614\ t + 20,4614)\left(\frac{l_c}{A}\right)^2 + \right.\right.$$

$$\left. + (6,994\ t - 5,7291)\left(\frac{l_c}{A}\right) - 0,6229\ t + 0,7916\right] v +$$

$$+ (1550,094\ t - 1767,117) \cdot \left(\frac{l_c}{A}\right)^2 + (-483,626\ t + 390,619)\left(\frac{l_c}{A}\right) +$$

$$\left. + 85,906\ t - 46,999\right\}, \quad [\mu m]; \qquad (4.3.217)$$

2 — la prelucrarea aceluiaşi oţel, în condiţii de lucru identice cu un cuţit din oţel rapid Rp2:

$$\Delta l_{c.r.ns.} = \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_0}}\right)(1 - e^{-8,8597\,s})\left\{\left[(-5,0188\ t + 7,5288)\left(\frac{l_c}{A}\right)^2 + \right.\right.$$

$$\left. + (0,6024\ t - 1,506)\left(\frac{l_c}{A}\right) - 0,1124\ t + 0,4578\right] v +$$

$$+ (376,58\ t - 1066,83)\left(\frac{l_c}{A}\right)^2 + (-45,18\ t + 128,01)\left(\frac{l_c}{A}\right) +$$

$$\left. + 46,98\ t - 22,69\right\}, \quad (\mu m]. \qquad (4.3.218)$$

Scanned with OKEN Scanner

Aplicație numerică exemplificatoare. În vederea exemplificării modului de calcul cu relațiile determinate pentru deformația termică a cuțitului de strung se prezintă următoarea aplicație numerică:

Să se determine deformația termică a cuțitului de strung armat cu plăcuță P20 fixată mecanic, în următoarele condiții de prelucrare: $v = 100$ m/min; $t = 1$ mm; $s = 0{,}2$ mm/rot; $\frac{l_c}{A} = 0{,}08$ mm^{-1}; $\tau_0 \cong 3{,}5$ min; $\tau = 2{,}5$ min; materialul de prelucrat OLC45.

Pentru acest caz de prelucrare, înlocuind valorile parametrilor de mai sus în relația (4.3.217) rezultă:

$$\Delta l_{c.r.ns} = \left(1 - e^{-\frac{2,5}{3,5}}\right)(1 - e^{-8,9587 \cdot 0,2}) \{[(-23,5614 \cdot 1 + 20,4614)(0,08)^2 + (6,994 \cdot 1 - 5,7291) \cdot 0,08 - 0,6629 \cdot 1 + 0,7916] \cdot 100 + (1550,094 \cdot 1 - 1767,117)(0,08)^2 + (-483,626 \cdot 1 + 390,619) \cdot 0,08 + 85,906 \cdot 1 - 49,699\} \cong 22,2 \ \mu m.$$

b — deformația termică a piesei. Deși ponderea deformației termice a piesei în eroarea totală de prelucrare este mult mai mică decît, spre exemplu, uzura radială sau deformația termică a sculei, totuși, în special la operațiile de finisare sau la un calcul exact al preciziei de prelucrare este necesar a ține cont și de aceasta.

Cantitatea de căldură care trece în piesă, rezultată în zona de așchiere în timpul procesului de așchiere, conduce la ridicarea continuă a temperaturii acesteia. Datorită acestui lucru, în timpul așchierii piesa se deformează termic, fapt care atrage după sine modificarea adîncimii de așchiere și apariția erorii de prelucrare.

Zona de așchiere constituie o sursă de căldură mobilă aplicată la suprafața piesei care se prelucrează. Sursa de căldură poate avea diverse forme și dimensiuni, funcție de felul prelucrării (strunjire, frezare, burghiere, alezare etc.), de forma și dimensiunile sculelor așchietoare.

De exemplu, la prelucrarea prin strunjirea de finisare cu un cuțit cu un unghi ascuțit la vîrf, sursa de căldură poate fi considerată punctiformă. În timpul așchierii sursa de căldură respectivă se deplasează pe suprafața piesei pe o traiectorie elicoidală cu viteza rezultantă din compunerea vectorială a vitezei de așchiere și a avansului longitudinal.

Cîmpul de temperatură în corpul piesei este reprezentat în figura 4.3.36. În timpul procesului de așchiere se observă trei perioade de răspîndire a căldurii:

— *prima perioadă* se caracterizează printr-o încălzire relativ mică a piesei, deoarece straturile de metal din fața cuțitului sînt reci;

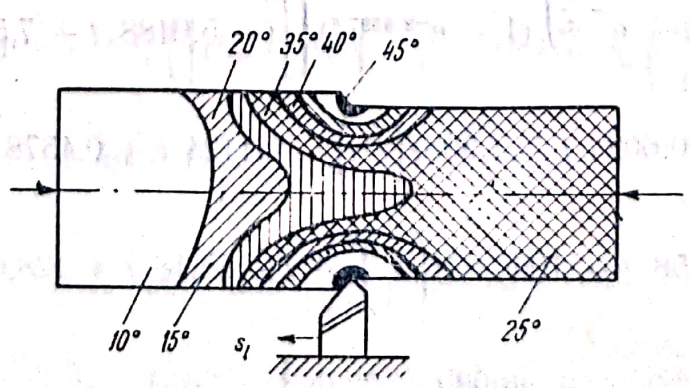


Fig. 4.3.36. Forma suprafețelor izotermice ale cîmpului de temperaturi ale piesei în timpul strunjirii.

Scanned with OKEN Scanner

— *a doua perioadă* se caracterizează prin aceea că în faţa cuţitului „aleargă" o undă de căldură avansată (la o distanţă oarecare). Deformaţiile termice ale piesei în această perioadă rămîn aproape constante în mai tot lungul suprafeţei piesei. În spatele cuţitului, la o distanţă oarecare de acesta se formează un cîmp de temperaturi constant.

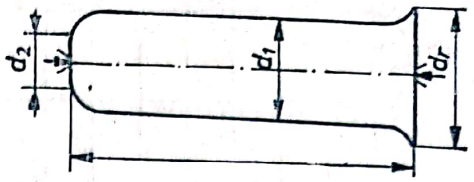


Fig. 4.3.37. Forma unui arbore rezultată după strunjire, datorită deformaţiei termice în timpul strunjirii.

— *a treia perioadă* a răspîndirii temperaturii în timpul prelucrării este caracterizată prin ridicarea temperaturii părţii încă neprelucrate a piesei, datorită reflectării undei termice pe suprafaţa frontală a capătului din stînga a piesei. Deformaţiile termice ale piesei în această perioadă cresc.

Deformaţiile termice ale piesei, diferite în cele trei perioade de timp enumerate precum şi în lungul suprafeţei prelucrate, conduc la apariţia erorilor de prelucrare dimensionale şi de formă geometrică. În figura 4.3.37 este reprezentată forma geometrică a unui arbore drept care în timpul procesului de aşchiere s-a deformat termic. Pentru determinarea erorii de prelucrare se calculează diametrele suprafeţei prelucrate, în diferite secţiuni, în funcţie de variaţia temperaturii piesei.

Pentru determinarea unei relaţii a deformaţiei termice a piesei funcţie de parametrii regimului de aşchiere s-a pornit de la constatarea că cercetările experimentale au arătat că în cazul prelucrărilor prin strunjire fără lichid de aşchiere, aproximativ 3 ... 9% din cantitatea de căldură dezvoltată în procesul de aşchiere se transmite piesei.

În acest caz, rezultă că temperatura la suprafaţa piesei θ_s se poate determina cu relaţia:

$$\theta_s = \frac{c_1 \cdot Q}{c_p \rho_p V_p}, \qquad (4.3.219)$$

în care: $c_1 = 0{,}03 \ldots 0{,}09$ este un coeficient ce caracterizează cantitatea de căldură absorbită de piesă; Q — cantitatea totală de căldură dezvoltată în procesul de aşchiere; c_p — căldura specifică a materialului piesei; ρ_p — densitatea piesei; V_p — volumul piesei.

Întrucît asupra preciziei de prelucrare prin strunjire, influenţa cea mai mare o au deformaţiile termice în direcţie radială, se admite ipoteza unui flux termic unidimensional spre centrul piesei de prelucrat, avînd în vedere că fluxul termic din lungul piesei are o influenţă neglijabilă asupra erorii totale de prelucrare, mai ales în cazul unor diametre mari ale acesteia.

Avînd în vedere ecuaţia conductibilităţii termice (în ipoteza unui cîmp de temperatură staţionar, materialul piesei izotrop, coeficientul de difuzibilitate termică „a" constant ($a = 0{,}16$ cm^2/s), iar materialul piesei nu suferă modificări ale stării de agregare) a piesei pentru flux termic în direcţie radială se poate scrie că:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} \approx a \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2}, \qquad (4.3.220)$$

Scanned with OKEN Scanner

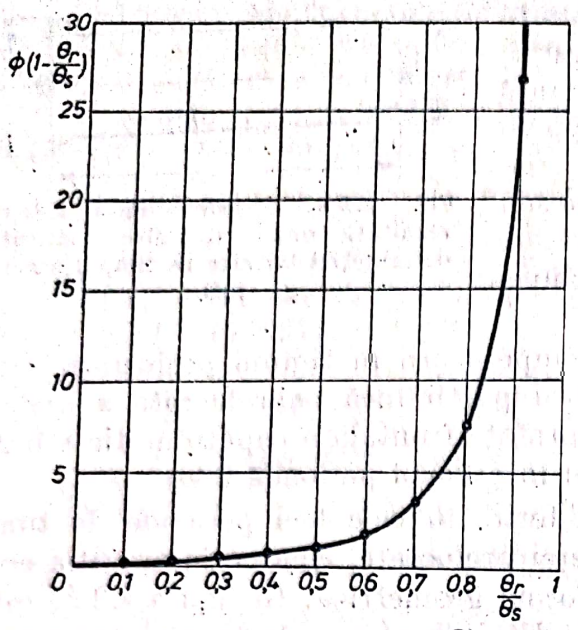


Fig. 4.3.38. Dependența funcției $\varnothing (1 - \theta_r/\theta_s)$ de raportul θ_r/θ_s.

iar după integrare și o serie de transformări, timpul în care un punct situat la distanța r de sursă (suprafața piesei) se încălzește pînă la o temperatură dată, se determină cu relația:

$$\tau = \frac{r^2}{a} \cdot \varnothing \left(1 - \frac{\theta_r}{\theta_s}\right). \qquad (4.3.221)$$

unde θ_r este temperatura în punctul considerat pe direcție radială.

Valorile funcției $\varnothing (1 - \theta_r/\theta_s)$ corespunzătoare diverselor valori ale raportului θ_r/θ_s, pot fi determinate din graficul prezentat în figura 4.3.38.

Dacă se ține cont de expresia cantității de căldură Q dezvoltată în procesul de așchiere, exprimată de relația:

$$Q = F_z \cdot v \cdot \tau_{bm}, \qquad (4.3.222)$$

precum și de relațiile care exprimă:

— forța principală de așchiere F_z:

$$F_z = C_{F_z} \cdot t^{x_{F_z}} s^{y_{F_z}} \cdot \mathrm{HB}^{n_1} \qquad (4.3.223)$$

în care: C_{F_z}, x_{F_z}, y_{F_z}, n_1 sînt coeficienți ce depind de condițiile concrete de prelucrare; HB — duritatea materialului de prelucrat;

— viteza de așchiere v:

$$v = \frac{\pi d_0 n}{1\,000}, \qquad (4.3.224)$$

în care d_0 este diametrul piesei rezultat după reglarea la dimensiune a cuțitului;

— volumul piesei prelucrate V_p:

$$V_p = \frac{\pi d_0^2 \cdot l}{4}, \qquad (4.3.225)$$

în care l este lungimea piesei;

— timpul de bază de mașină:

$$\tau_{bm} = \frac{l}{ns}, \qquad (4.3.226)$$

relația (4.3.219) devine după simple transformări:

$$\theta_s = \frac{c_1 C_{F_z} \mathrm{HB}^{n_1} t^{x_{F_z}} \cdot s^{y_{F_z}-1}}{10{,}675 \cdot 10^4 c_p \rho_p d_0}. \qquad (4.3.227)$$

Deformația termică a piesei în direcție radială, dacă se ține cont că temperatura în această direcție scade spre centrul piesei, se poate determina cu ajutorul relației următoare:

$$\Delta d_p = \alpha \int_0^{d_0/2} \theta_r \cdot dr. \qquad (4.3.228)$$

Scanned with OKEN Scanner

Cu ajutorul teoriei proceselor termice nestaționare se pot deduce temperaturile aproximative ale diferitelor puncte situate pe secțiunea piesei în direcție radială.

Întrucît variația temperaturii θ_r nu poate fi exprimată analitic (o soluție pentru determinarea acesteia ar fi mult prea laborioasă), pentru rezolvarea integralei din relația (4.3.228) se poate folosi o metodă numerică.

Alegînd drept valoare a lui τ (v. rel. 4.3.221), valoarea ritmului liniei tehnologice R_l, timp în care se termină procesul de prelucrare și deci și de transmitere a căldurii, din relația (4.3.221) pentru un pas constant egal cu d_0/h (unde $h \geqslant 1$) rezultă (folosind dependența din fig. 4.3.38) următoarele date:

$$\begin{aligned}
&- \text{pentru } r_0 = 0 \Rightarrow \theta_{r_0} = \theta_s;\\
&- \text{pentru } r_1 = d_0/h \Rightarrow \varnothing_1 = v_1 \Rightarrow \theta_{r_1} = \theta_s \cdot \varnothing_1 = \theta_s \cdot v_1;\\
&- \text{pentru } r_2 = 2d_0/h \Rightarrow \varnothing_2 = v_2 \Rightarrow \theta_{r_2} = \theta_s \cdot \varnothing_2 = \theta_s \cdot v_2;\\
&\quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&- \text{pentru } r_k = kd_0/h \Rightarrow \varnothing_k = v_k \Rightarrow \theta_{r_k} = \theta_s \cdot \varnothing_k = \theta_s \cdot v_k.
\end{aligned} \tag{4.3.229}$$

În conformitate cu metoda trapezelor de integrare numerică, integrala din relația (4.3.228) este:

$$\int_0^{d_0/2} \theta_r \cdot dr \cong \frac{d_0}{2h}\left(\frac{\theta_{r_0}}{2} + \theta_{r_1} + \theta_{r_2} + \ldots + \frac{\theta_{r_k}}{2}\right), \tag{4.3.230}$$

sau, ținînd cont de relațiile (4.3.229):

$$\int_0^{d_0/2} \theta_r \cdot dr \cong \frac{d_0}{2h} \cdot \theta_s\left(\frac{1}{2} + v_1 + v_2 + \ldots + \frac{v_k}{2}\right). \tag{4.3.231}$$

Înlocuind relațiile (4.3.227) și (4.3.231) în relația (4.3.228) se obține expresia finală a erorii de prelucrare ca urmare a deformațiilor termice ale piesei în direcție radială:

$$\Delta d_p = \frac{\alpha}{2h} \cdot \frac{c_1 C_{F_z} \cdot \mathrm{HB}^{n_1} t^{x_{F_z}} \cdot s^{y_{F_z}-1}}{10{,}675 \cdot 10^4 \cdot c_p \cdot \rho_p}\left(\frac{1}{2} + v_1 + v_2 + \ldots + \frac{v_k}{2}\right). \tag{4.3.232}$$

Aplicație numerică exemplificatorie

În condițiile prelucrării prin strunjire cu un cuțit armat cu plăcuță P20 fixată mecanic a unei piese din OLC45 cu dimensiunile: $d = 70$ mm; $l = 400$ mm, folosind următorul regim de așchiere: $v = 100$ m/min; $t = 1$ mm; $s = 0{,}2$ mm/rot, iar valorile celorlalți parametrii ai relației (4.3.232) fiind (luați din literatura de specialitate): $\alpha = 0{,}000012\,^\circ\mathrm{C}^{-1}$; $h = 4$ (adoptat); $c_1 = 0{,}08$; $\tau = 2{,}5$ min; $C_{F_z} = 27{,}9$; $\mathrm{HB} = 200$; $n_1 = 0{,}75$; $x_{F_z} = 1$; $a = 0{,}16$ cm^2/s; $y_{F_z} = 0{,}75$; $c_p = 0{,}11$ cal/kg °C; $\rho_p = 7{,}6$ kg/dm^3, se găsește, folosind relațiile (4.3.229), (4.3.221) și graficul din figura 4.3.38 că: $v_1 \cong 0{,}13$; $v_2 = 0{,}032$.

Înlocuind valorile de mai sus în relația (4.3.232) rezultă:

$$\Delta d_p = \frac{0{,}000012}{2 \cdot 4} \cdot \frac{0{,}08 \cdot 27{,}9 \cdot 200^{0.75} \cdot 1^1 \cdot 0{,}2^{-0.25}}{10{,}675 \cdot 10^4 \cdot 0{,}11 \cdot 7{,}6 \cdot 10^{-6}}\left(\frac{1}{2} + 0{,}13 + 0{,}032\right) \cong$$

$$\cong 0{,}0019 \text{ mm}.$$

Scanned with OKEN Scanner

c — deformațiile termice ale mașinii-unelte. În timpul procesului de așchiere organele mașinii-unelte se încălzesc din cauza frecărilor din lagăre și angrenaje. O parte din această căldură de frecare trece în mediul ambiant, iar o parte trece în organele mașinii-unelte. Încălzirea acestora mai este provocată și din cauza unei anumite părți din căldura de așchiere care se scurge în ele.

Spre deosebire de scula așchietoare și piesa ce se prelucrează, organele mașinii-unelte se încălzesc mai lent și mai puțin, ceea ce face ca și deformațiile lor termice să se producă într-un timp mai lung și într-o măsură mai mică, întrucît temperaturile lor sînt mult mai joase, iar masele lor mai mari (căldura de frecare lichidă sau semilichidă este mult mai mică decît căldura de așchiere).

Asupra preciziei pieselor ce se prelucrează influențează într-o măsură mai mare numai deformațiile termice ale organelor de mașini, care se produc după o direcție perpendiculară pe suprafața ce se prelucrează. Deformațiile termice mai mari ale organelor de mașini, care se produc în direcții diferite, se proiectează pe normala la suprafața ce se prelucrează.

Se menționează că în timpul procesului de prelucrare se încălzește în special păpușa fixă și păpușa mobilă. Suportul și batiul se încălzesc mult mai puțin și deformațiile lor termice se pot neglija.

La încălzirea păpușii fixe, axa de simetrie a arborelui principal se deplasează în plan vertical și orizontal.

Deplasarea axei de simetrie a arborelui principal în plan vertical se datorește deformației termice a carcasei păpușii fixe, produse de încălzirea uleiului. Mărimea deplasării în plan vertical se poate determina după relația:

$$\Delta l_v = \alpha H(t_1 - t_2), \qquad (4.3.233)$$

unde: α este coeficientul de alungire termică, care pentru fontă este egal cu $11 \cdot 10^{-6}$; H — înălțimea vîrfurilor strungului, în mm; t_1 — temperatura finală a uleiului din păpușa fixă, în °C; t_2 — temperatura inițială a uleiului, în °C.

Rezultatele experimentale nu corespund însă cu cele obținute prin calcul după relația (4.3.233), lucru ce se poate explica prin faptul că păpușa fixă nu se încălzește peste tot în mod uniform.

B. M. Bogdanov, de la Institutul Politehnic din Leningrad [86], a studiat experimental deformația termică a păpușii fixe a unui strung cu înălțimea vîrfurilor de 385 mm și a observat că după 4—5 ore de funcționare (cu o turație a axului principal de 405 rot/min), axa de simetrie a arborelui principal s-a deplasat în plan vertical cu 50 μm, pe cîtă vreme după relația (4.3.233) rezultă o deplasare de 81 μm. Explicația acestei diferențe a fost dată mai sus.

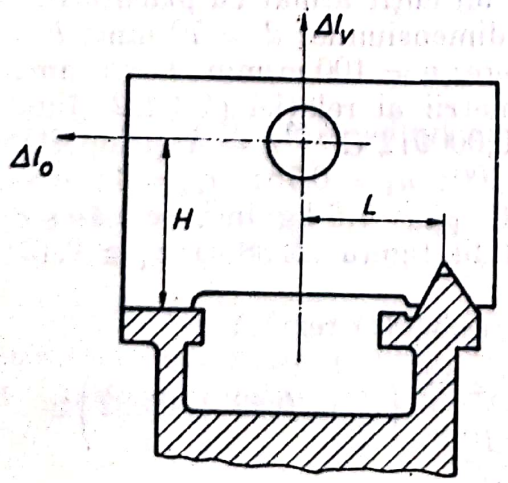


Fig. 4.3.39. Ghidajul strungului.

În plan orizontal (în direcția „spre muncitor") axa de simetrie a arborelui principal s-a deplasat cu 11 μm, pe cîtă vreme după relația:

$$\Delta l_0 = \alpha L(t_1 - t_2), \qquad (4.3.234)$$

se obține o deplasare egală cu 41 μm. În relația (4.3.234) cu L s-a notat distanța de la ghidajul prismatic al batiului pînă la axa de simetrie a arborelui principal, după cum se vede în figura 4.3.39. În cazul strungului dat distanța L a fost de 185 mm. Axa de simetrie a arborelui principal s-a

Scanned with OKEN Scanner

deplasat înspre muncitor, întrucît după cum se vede din figura 4.3.39 ghidajul strungului din această parte este plan și deformația termică a păpușii fixe în direcția arătată întîmpină o rezistență mai mică. Faptul că există însă o diferență între valoarea deplasării calculată cu relația (4.3.234) și cea determinată experimental, dovedește că în realitate există o serie de factori care împiedică deplasarea axei de simetrie a arborelui principal, a căror influență nu a putut fi cuprinsă într-o relație matematică exactă.

Cu toate că deplasările axei de simetrie ale arborelui principal în planul vertical sînt mai mari decît cele în planul orizontal, totuși influența lor asupra preciziei de prelucrare este mai mică decît influența deplasărilor în planul orizontal. La prelucrarea pe un strung, reglat la cotă a unui lot de arbori drepți, din cauza deplasării în planul orizontal a păpușii fixe, diametrul arborilor la capătul dinspre păpușa fixă se obține mai mic cu o mărime egală cu $2\Delta l_0$. În cazul studiat experimental $\Delta l_0 = 0{,}011$ (mm); diametrul arborilor ce se prelucrează la capătul dinspre păpușa fixă se micșorează cu $2\Delta l_0 = 2 \cdot 0{,}011 = 0{,}022$ mm.

Deplasarea axei de simetrie a arborelui principal în planul vertical are asupra preciziei de prelucrare aproximativ aceeași influență ca și deplasarea vîrfului cuțitului de strung în plan vertical sub acțiunea componentei P_s a forței de așchiere.

O influență mare asupra deformației termice a batiului strungului (și a mașinii de rectificat) o are pe de o parte variația temperaturii mediului înconjurător, aerul și solul, respectiv fundația pe care este așezată mașina. Din studiile publicate rezultă că deformația batiului la o variație a temperaturii fundației și a batiului de 6—8°C este de cîteva ori mai mare decît cea admisibilă prin standarde. De aici reiese necesitatea de a se menține mașinile-unelte mai ales cele de precizie, în medii cu cîmpuri de temperaturi constante și egale cu 20°C, iar batiurile să fie așezate pe izolatori termici.

● Uzura sculelor pe fața lor de așezare sau uzura în direcția normală pe suprafața care se prelucrează. Alături de deformația termică a sculei și deformația elastică a sistemului tehnologic MUPS (după cum se va vedea ulterior) uzura cuțitului pe fața de așezare constituie unul din factorii care afectează cel mai mult precizia de prelucrare.

Întrucît fenomenul intim al procesului uzurii sculelor în timpul așchierii nu este încă complet și definitiv elucidat și mai ales, datorită faptului că explicația lui depășește granițele acestui curs, ne limităm a prezenta numai urmările uzurii pe fața de așezare a sculelor, urmări care influențează în mare măsură asupra preciziei dimensionale și geometrice ale pieselor care se prelucrează.

Deoarece în studiul preciziei de prelucrare este dificilă utilizarea mărimii uzurii de pe fața de așezare a sculelor notată cu h (fig. 4.3.40) cum se obișnuiește în cursurile de așchiere a metalelor, se utilizează mărimea u, întrucît valoarea ei se măsoară mai ușor cu ajutorul aparatului din figura 4.3.41 conceput și realizat de autor [19].

Din studiile practice s-a observat că uzura apare simultan pe fața de așezare și de degajare numai atunci cînd adîncimea de așchiere este mai mare de 0,1 mm, iar cînd strunjirea se face cu o adîncime de așchiere mai mare de 0,5 mm, fără răcire artificială și cu viteze de așchiere relativ mari, uzura apare numai pe fața de degajare.

În urma cercetărilor noastre experimentale, precum și din studiul literaturii de specialitate, s-a ajuns la concluzia că uzura sculelor pe fața de așezare se poate, în primă aproximație, considera ca fiind direct proporțională

Scanned with OKEN Scanner

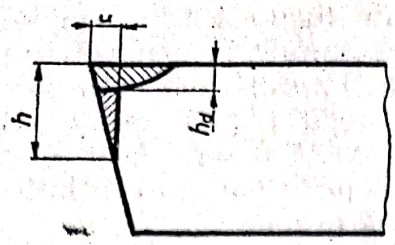


Fig. 4.3.40. Reprezentarea uzurii tăişului pe faţa de degajare şi aşezare.

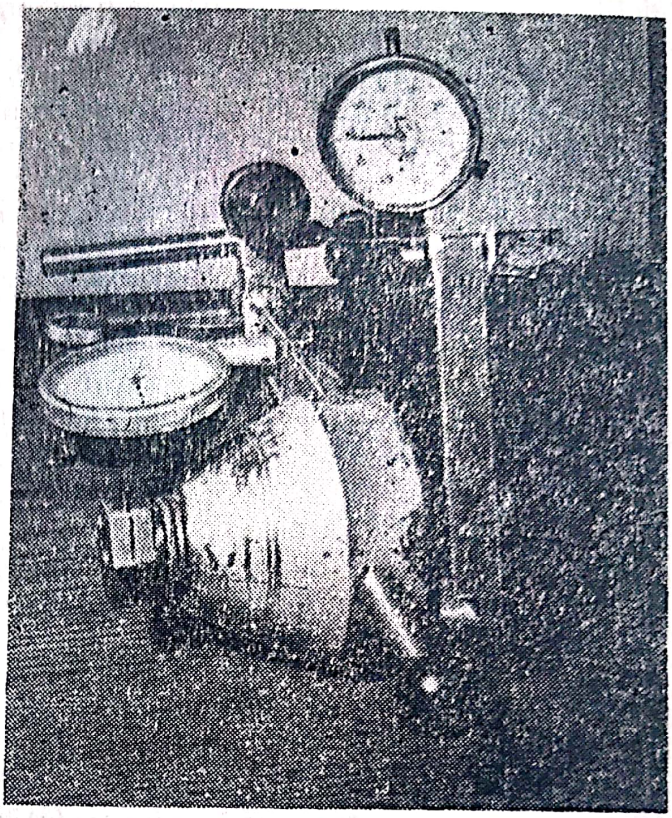


Fig. 4.3.41. Aparat de măsurat simultan uzura pe faţa de aşezare şi degajare, precum şi deformaţia termică a cuţitului de strung.

cu timpul de aşchiere sau cu lungimea drumului parcurs de vîrful cuţitului în metal în timpul aşchierii. De asemenea uzura mai poate fi exprimată şi funcţie de mărimea suprafeţei aşchiate, în mm².

Pe baza rezultatelor experimentale, măsurarea uzurii u fiind făcută cu aparatul din figura 4.3.41, au fost obţinute o serie de curbe de variaţie a uzurii u asemănătoare curbei din figura 4.3.42, după care are loc în general variaţia uzurii pe faţa de aşezare a sculelor aşchietoare.

După cum se vede din figura amintită, variaţia uzurii pe faţa de aşezare nu se supune legii de variaţie riguros liniară. În prima perioadă de aşezare, în care vîrful sculei parcurge în metal un drum l_1 egal aproximativ cu 1 500 mm, uzura variază după o curbă exponenţială.

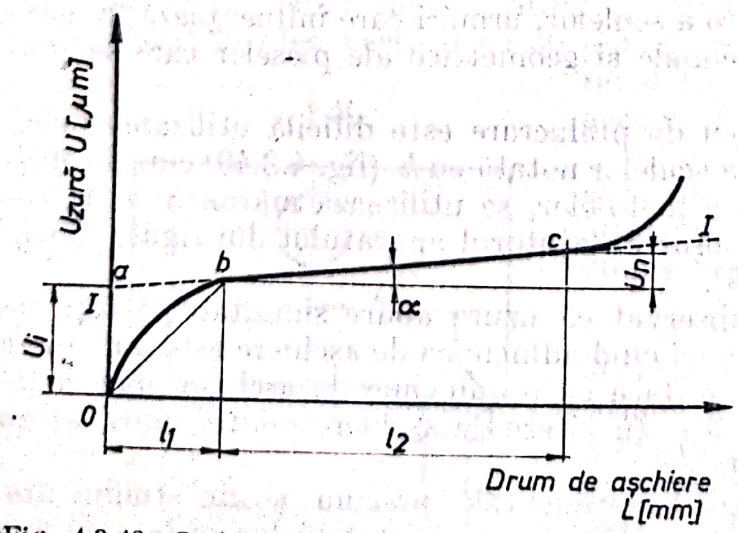


Fig. 4.3.42. Curba de variaţie a uzurii pe faţa de aşezare.

Etapa următoare caracterizează uzura normală u_n care decurge liniar după dreapta $a-c$ înclinată sub unghiul α faţă de abscisă. Lungimea drumului parcurs de vîrful cuţitului în metal în această perioadă este egal cu l_2.

Dat fiind caracterul liniar al uzurii din această etapă de timp, se poate introduce no-

ţiunea de uzură relativă notată cu u_0, uzură a cărei mărime este egală cu tangenta unghiului α, adică:

$$u_0 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{u_n}{l_2}, \qquad (4.3.235)$$

unde u_n este mărimea uzurii normale după parcurgerea drumului aşchiat l_2.

În perioada următoare de timp uzura sculei variază foarte brusc deoarece geometria părţii aşchietoare s-a schimbat atît de mult încît nu mai asigură desfăşurarea normală a procesului de îndepărtare de aşchii, scula trebuind să fie reascuţită.

Mărimea uzurii relative depinde de un număr mare de factori, dintre care cei mai importanţi sînt: materialul piesei care se prelucrează, materialul sculei aşchietoare, regimul de aşchiere şi geometria părţii aşchietoare a sculei.

Materialul de prelucrat şi în special duritatea materialului respectiv influenţează într-o măsură foarte mare asupra uzurii relative. Astfel, de exemplu, uzura relativă la strunjirea oţelului XH1M (sovietic) cu viteza de aşchiere $v = 300$ m/min este de aproximativ 5 ori mai mare decît la strunjirea oţelului OL 50.

Materialul din care este confecţionată scula aşchietoare are de asemenea o influenţă mare asupra uzurii relative, lucru care se vede în figura 4.3.43.

Sculele din oţel rapid la prelucrarea aceleiaşi piese au o uzură relativă de 1,5 ... 2 ori mai mare decît sculele armate cu plăcuţe de carburi metalice.

Uzura cuţitelor armate cu plăcuţe mineralo-ceramice (indigene ENCS şi străine TM-332) în comparaţie cu a celor armate cu plăcuţe de carburi metalice T15K6 la strunjirea pieselor din oţel rapid, oţel călit şi fontă este reprezentată în figurile 4.3.44, 4.3.45 şi 4.3.46.

La frezarea de finisare a fontei călite cu HB = 375 ... 400 cu cap de frezat, uzura dinţilor din plăcuţe mineralo-ceramice ŢM-332 este de opt ori mai mică decît uzura dinţilor din carburi metalice VK 8.

Dintre factorii regimului de aşchiere influenţa cea mai mare asupra uzurii relative o are *viteza de aşchiere*.

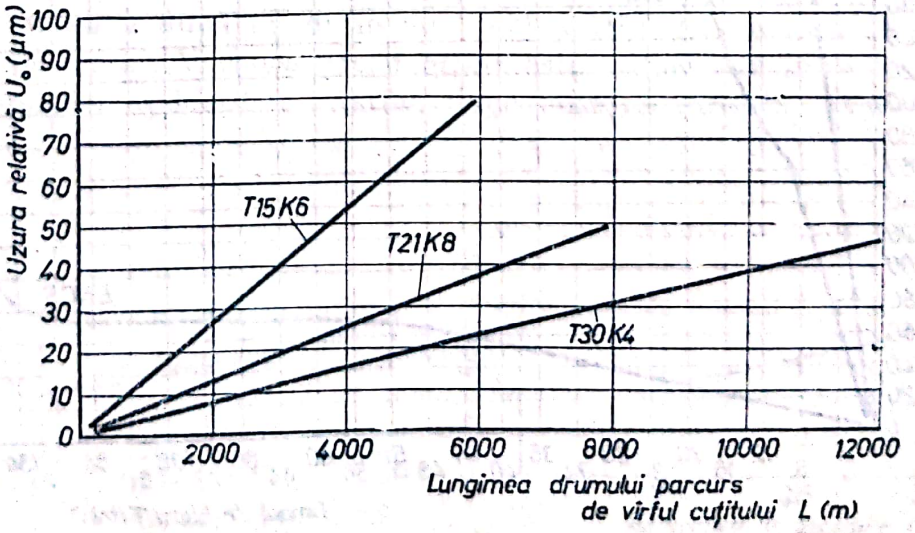


Fig. 4.3.43. Variaţia uzurii relative a cuţitului, în funcţie de drumul parcurs în metal (cu $v = 130$ m/min; $t = 0{,}25$ mm şi $s = 0{,}2$ mm/rot).

Scanned with OKEN Scanner

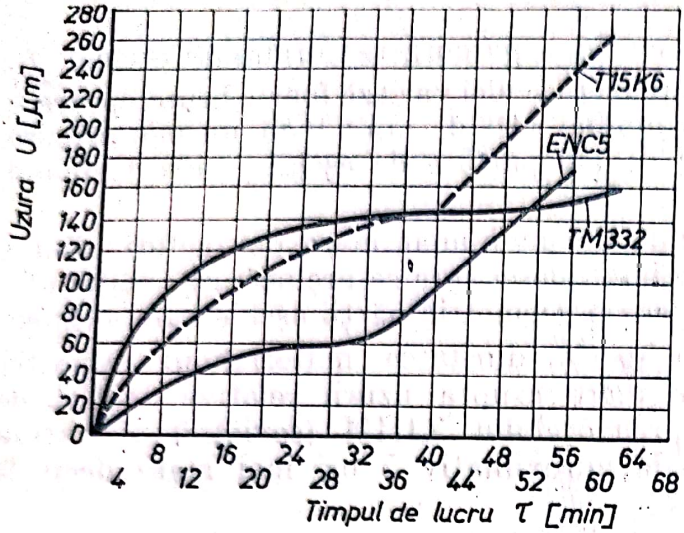


Fig. 4.3.44. Variația uzurii radiale în funcție de timpul de lucru la strunjirea oțelului rapid, cu plăcuțe mineralo-ceramice și din carburi metalice.

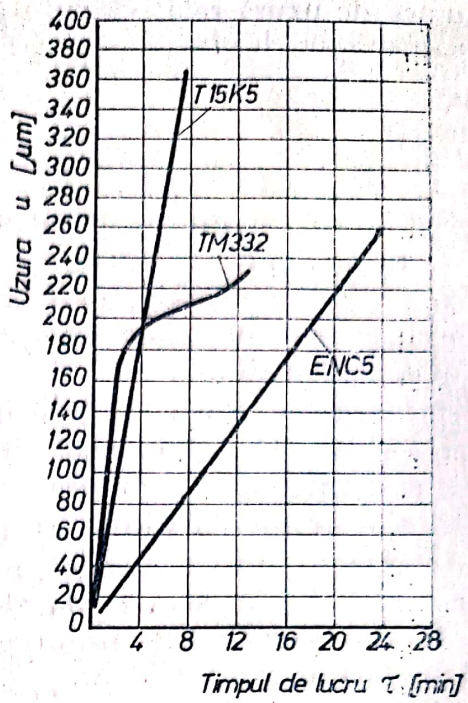


Fig. 4.3.45. Variația uzurii radiale în funcție de timpul de lucru la strunjirea oțelului călit, cu plăcuțe mineralo-ceramice și din carburi metalice.

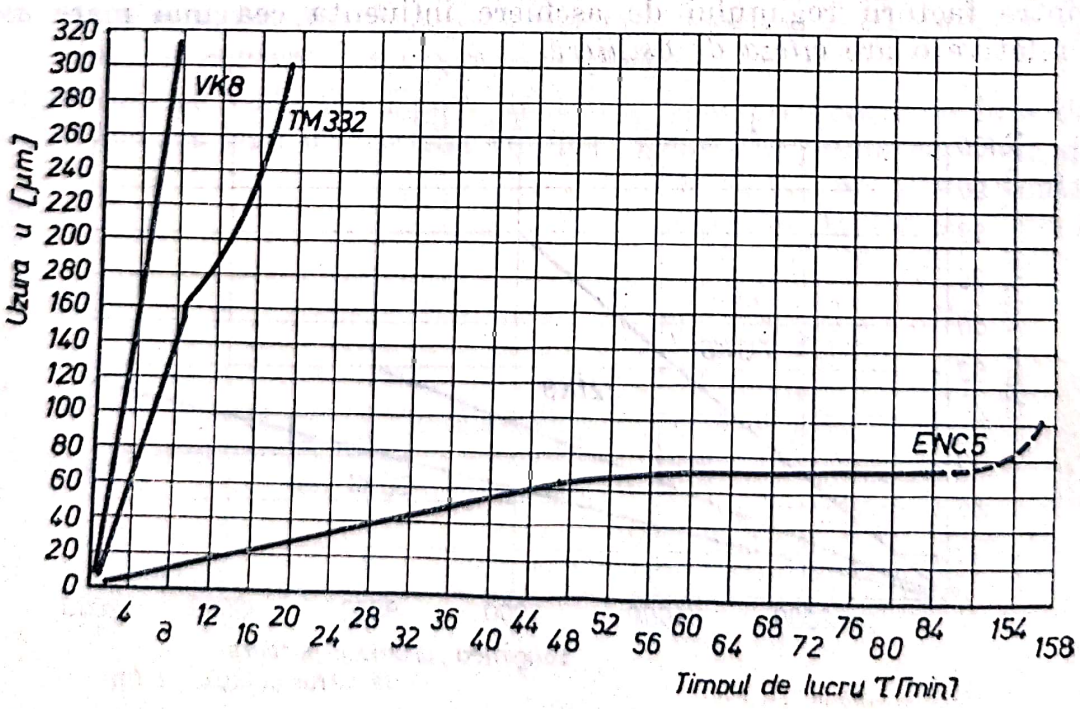


Fig. 4.3.46. Variația uzurii radiale în funcție de timpul de lucru la strunjirea fontei, cu plăcuțe mineralo-ceramice și din carburi metalice.

Scanned with OKEN Scanner

În diagramele *a* și *b* din figura 4.3.47 este reprezentată variația uzurii relative, a cuțitelor de strung armate cu plăcuțe de carburi metalice T15K6 și T30K4 la strunjirea de finisare a unui oțel tratat și netratat termic. Din diagramele respective se vede că viteza de așchiere la care uzura relativă este minimă are valoarea cuprinsă între 100 ... 150 m/min.

Adîncimea de așchiere influențează foarte puțin asupra variației uzurii relative, după cum rezultă și din diagrama prezentată în figura 4.3.48.

Strunjirea s-a făcut cu un cuțit armat cu plăcuță din carbură metalică T15K6, piesa fiind confecționată din oțel tratat termic. Regimul de așchiere a fost: $v = 130$ m/min, $s = 0{,}2$ mm/rot, iar geometria părții așchietoare a cuțitului, $\varkappa = 45°$, $\alpha = 8°$, $\gamma = 0°$, $r = 1{,}2$ mm.

Influența avansului asupra uzurii relative este de asemenea foarte mică, lucru care se vede în diagrama din figura 4.3.49.

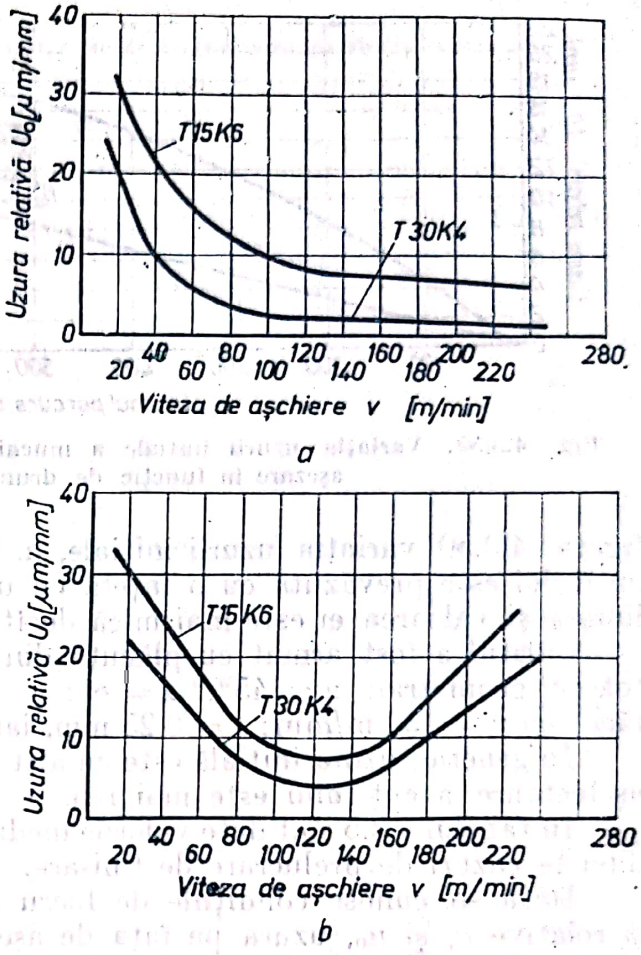


Fig. 4.3.47. Variația uzurii relative în funcție de viteza de așchiere la strunjirea pieselor din:
a — oțel aliat netratat termic; *b* — oțel aliat tratat termic.

Prelucrarea în cazul respectiv s-a făcut cu același cuțit și viteză de așchiere, adîncimea fiind $t = 0{,}25$ mm.

Așa cum s-a mai arătat, uzura inițială variază foarte brusc, ajungînd la valoarea maximă după un drum de 1 500 ... 2 000 m, parcurs de muchia așchietoare de metal. Variația uzurii inițiale este influențată în mare măsură de forma muchiei așchietoare. Astfel, după cum se vede în diagrama din

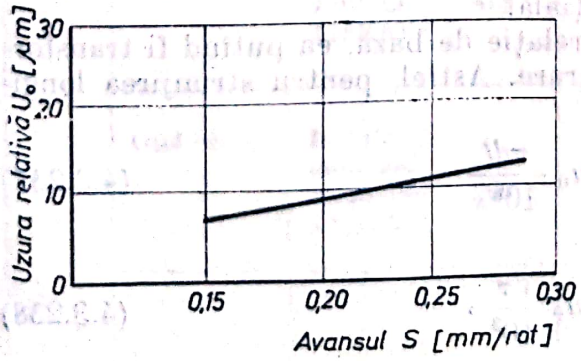


Fig. 4.3.48. Variația uzurii relative în funcție de adîncimea de așchiere.

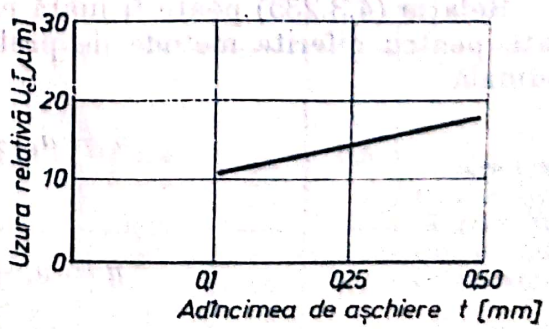


Fig. 4.3.49. Variația uzurii relative în funcție de avansul de lucru.

Scanned with OKEN Scanner

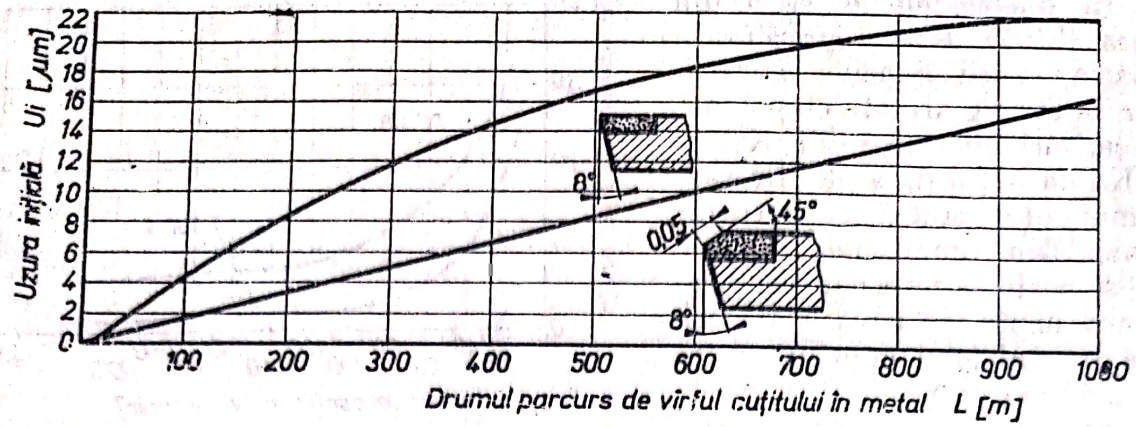


Fig. 4.3.50. Variația uzurii inițiale a muchiei așchietoare a cuțitului pe fața de așezare în funcție de drumul parcurs în metal.

figura 4.3.50 variația uzurii inițiale, în cazul în care muchia așchietoare a cuțitului este prevăzută cu o fațetă cu un unghi negativ $\gamma = -45°$C, este liniară și valoarea ei este mai mică decît în cazul cînd $\gamma = 0$.

Cuțitul a fost armat cu plăcuță din carburi metalice T15K6 cu următoarea geometrie: $\varkappa = 45°$; $\alpha = 8°$; $\gamma = 0°$ și $r = 1{,}2$ mm. Strunjirea s-a făcut cu $v = 130$ m/min; $t = 0{,}25$ mm, iar $s = 0{,}2$ mm/rot.

În general, uzura inițială este cu atît mai intensă cu cît calitatea muchiei așchietoare a cuțitului este mai rea.

În tabelul 4.3.5 sînt date valorile medii ale uzurii inițiale și relative pentru diferite cazuri de prelucrare de finisare.

Dacă se cunosc condițiile de lucru și valorile medii ale uzurii inițiale și relative u_i și u_0, uzura pe fața de așezare u, în μm, se poate determina funcție de drumul L, în m, parcurs de vîrful sculei în metal după relația:

$$u = u_i + u_0 \frac{L}{1\,000}. \qquad (4.3.235')$$

Relația respectivă dă rezultatele apropiate de cele reale dacă $L = 1\,000$ m. Atunci cînd $L = 400 \ldots 600$ m rezultatele obținute sînt mai mari. În acest caz este mai bine să se utilizeze următoarea relația:

$$u = (u_i + l_1 u_0) \frac{L}{l_1} \qquad (4.3.236)$$

în care l_1 este lungimea drumului parcurs de vîrful cuțitului în prima perioadă de timp, în care are loc uzura inițială.

Relația (4.3.235) poate fi luată ca relație de bază, ea putînd fi transformată pentru diferite metode de prelucrare. Astfel, pentru strunjirea longitudinală

$$u = u_i + u_0 \frac{\pi d l}{10^6 s} \qquad (4.3.237)$$

sau

$$u = u_i + u_0 \frac{v\tau}{10^3}, \qquad (4.3.238)$$

în care: d este diametrul suprafeței care se prelucrează, în mm; l — lungimea suprafeței care se prelucrează, în mm; s — avansul, în mm/rot;

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.3.5

Valori medii ale uzurii inițiale și relative la prelucrarea de finisare

Metoda de prelucrare	Materialul de prelucrat	Materialul sculei așchietoare	Regimul de așchiere: Viteza de așchiere v, m/min	Regimul de așchiere: Adîncimea de așchiere t, mm	Regimul de așchiere: Avansul de lucru s, $\frac{mm}{rot.}$	Uzura inițială u_{i0} μm	Uzura relativă u_0 μm/mm	Observații
Strunjire exterioară de finisare	Oțel aliat tratat termic cu $\tau_r = 1100$ MPa	T15K6 T30K4	100 150	2 2	0,3 0,3	13 7	10 6	—
	Oțel aliat $\tau_r = 920$ MPa	T60K6 T30K4 T15K6 VK3 T15K10 VK4 VK9 VK11	135	0,5	0,21	2 2 4 5 6 6 10 10	2 3,5 8,5 9,5 12 30 65 140	8,35 %C 0,48 %Mn 0,22 %Si 2,3 %Cr 2,31 %Ni
	Fontă cenușie HB = 187	VK 4 VK 3 VK 3	90	0,5	0,2	3 5 5	8,5 13 19	—
	Fontă maleabilă HB = 230	VK 3	90 120 240	0,5	0,1	4 6 25	2,5 3,5 11	3 %C 1,27 %Mn 2,09 %Si 0,1 %P 0,077 %S 0,07 %Cr 0,17 %Ni
	Oțel 45	T60K6 T30KCeA T30KCe T15K6T	485— 465	0,3	0,1	3 4 4 5	2,5 3 2,8 20	—
	Oțel 35	Pastilă mineralo-ceramică TM-332	200	1,0	0,48	—	0,5	Uzura relativă obținută prin calcul, pe fața de așezare
	Oțel Cr—Ni	idem	200	1,0	0,48	—	12	

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.3.5 (continuare)

Strunjire exterioară de finisare	Fontă cenușie FC 18—36 HB = 180	VK 8	100 120 140	0,5	0,1	4 5 6	13 18 35	
Strunjire interioară de finisare	Fontă albă HB = 375—400	Pastilă mineralo-ceramică TM-332 VK3 VK2	105 105 105	0,3 0,3 0,3	0,17 0,17 0,17	10 20 10	9 16 12	—
Strunjire exterioară de finisare	Oțel 40	E 4260	80	0,5	0,18	65		—
	Oțel 45	Pastilă mineralo-ceramică TM-332	60 100 200 300 400	0,5	0,21	2 1 3 3 3	0,5 0,7 0,75 0,76 1,0	La prelucrarea cu cuțite, cu plăcuțe, T15K6, uzura relativă este de 2—4 ori mai mare

v — viteza de așchiere, în m/min: τ = timpul de lucru după care se măsoară uzura, în min.

Întrucît relațiile de forma (4.3.236 — 4.3.238) cuprind un singur parametru al regimului de așchiere, pentru a determina expresia analitică a uzurii pe fața de așezare a cuțitului de strung, avîndu-se în vedere dependența experimentală oarecum asemănătoare a curbei de variație a acesteia funcție de timp (fig. 4.3.51), cu cea a deformației termice a cuțitului, funcție de același parametru (fig. 4.3.52) s-a dedus, că și în acest caz se poate folosi o relație de calcul de tipul relației (4.3.214).

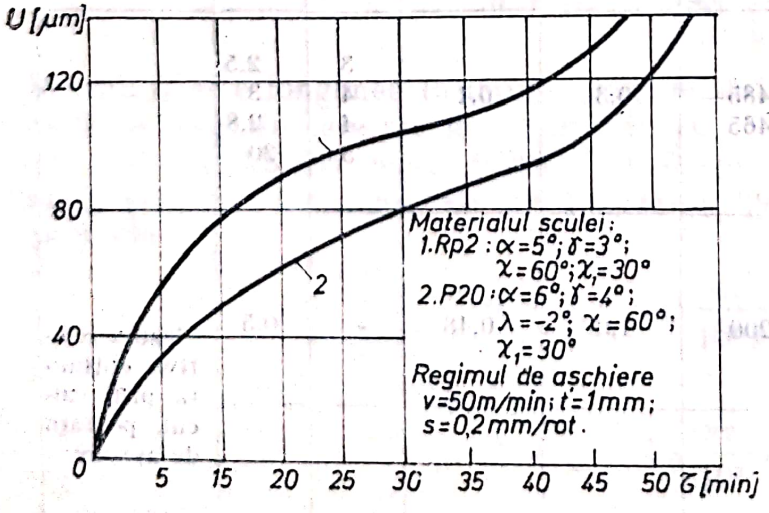


Fig. 4.3.51. Variația uzurii pe fața de așezare a cuțitului de strung funcție de timp.

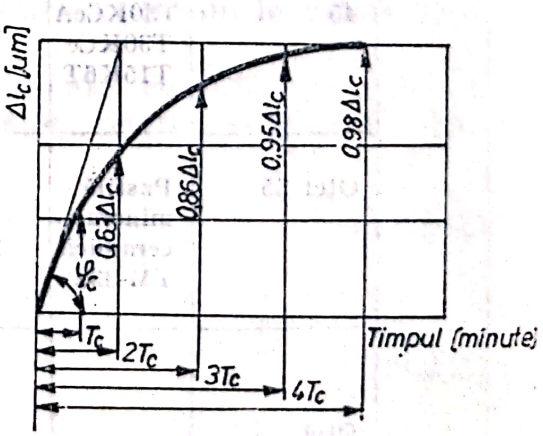


Fig. 4.3.52. Variația deformației termice a cuțitului de strung funcție de timp.

Scanned with OKEN Scanner

Într-adevăr, luînd în considerare parametrii variabili ai regimului de așchiere, precum și timpul de lucru, adică t, v, s și τ, uzura pe fața de așezare a cuțitului de strung se poate exprima prin următoarea funcție:

$$u = f(t, v, s\,\tau). \tag{4.3.239}$$

Procedînd în mod asemănător ca și în cazul alungirii termice a cuțitului de strung, dependențele experimentale ale uzurii funcție de parametrii luați în calcul (în condițiile menținerii a trei dintre ei constanți) sînt de forma celor prezentate în figurile 4.3.51, 4.3.53, 4.3.54 și 4.3.55.

Prelucrînd datele din figurile 4.3.51, 4.3.53, 4.3.54 și 4.3.55 s-a dedus că dependența $u(\tau)$ este exponențială, $u(s)$ și $u(t)$ este liniară, iar $u(v)$ este pătratică.

În aceste condiții dependența $u(t)$ poate fi scrisă sub forma:

$$u = k_1' t + b_1', \tag{4.3.240}$$

unde k_1', b_1' reprezintă coeficienți ce țin cont de dependența parametrului u de mărimile variabile v, τ și s, adică:

$$k_1',\ b_1' = \varphi(v,\ s,\ \tau), \tag{4.3.241}$$

în care φ este o funcție oarecare a parametrilor variabili menționați.

Dependența experimentală $u = f(v)$, în conformitate cu figura 4.3.55 se poate scrie sub următoarea formă analitică:

$$u = \mu_1' v^2 + \nu_1' v + \xi_1', \tag{4.3.242}$$

unde μ_1', ν_1', ξ_1' sînt coeficienți care depind de parametrii t și s.

Relația analitică $u = f(\tau)$ în conformitate cu graficul din figura 4.3.51 este de forma:

$$u = a'(1 - e^{-k''\cdot\tau}), \tag{4.3.243}$$

unde a' și k'' sînt coeficienți ce țin cont de caracterul neliniar de variație al mărimii u.

Dependența $u = f(s)$ este liniară (fig. 4.5.53) și se poate exprima printr-o relație de forma:

$$u = k_2' s + b_2'. \tag{4.3.244}$$

După același raționament de calcul ca și la determinarea deformației termice a cuțitului de strung, s-a obținut următoarea dependență analitică a uzurii cuțitului pe fața de așezare (în cazul strunjirii):

$$u = (1 - e^{-k''\cdot\tau})\,\{[(k_1' s + b_1')\,v^2 + (k_2' s + b_2')\,v + k_3' s + b_3']\,t +$$

$$+ (k_4' s + b_4')\,v^2 + (k_5' s + b_5')\,v + k_6' s + b_6'\}, \tag{4.3.245}$$

unde k'', $k_1' \div k_6'$, $b_1' \div b_6'$ sînt coeficienți ce se determină experimental funcție de parametrii v, t, s, τ, precum și de condițiile concrete de așchiere.

În urma prelucrării rezultatelor experimentale obținute la prelucrarea prin strunjire fără lichid de așchiere, a trei mărci de oțeluri cu un cuțit armat cu plăcuță de carbură metalică P20 fixată mecanic și cu un cuțit din oțel rapid

Scanned with OKEN Scanner

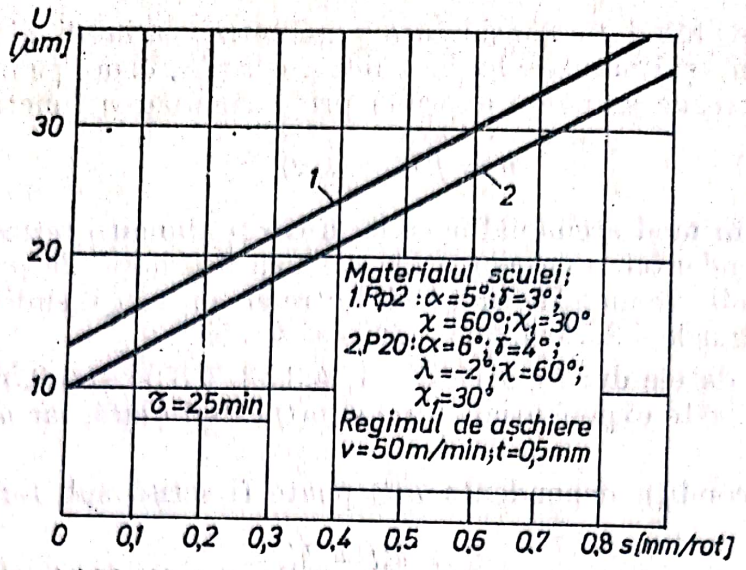


Fig. 4.3.53. Variaţia uzurii cuţitului în funcţie de avansul de lucru (t = constant; v = constant; τ = constant).

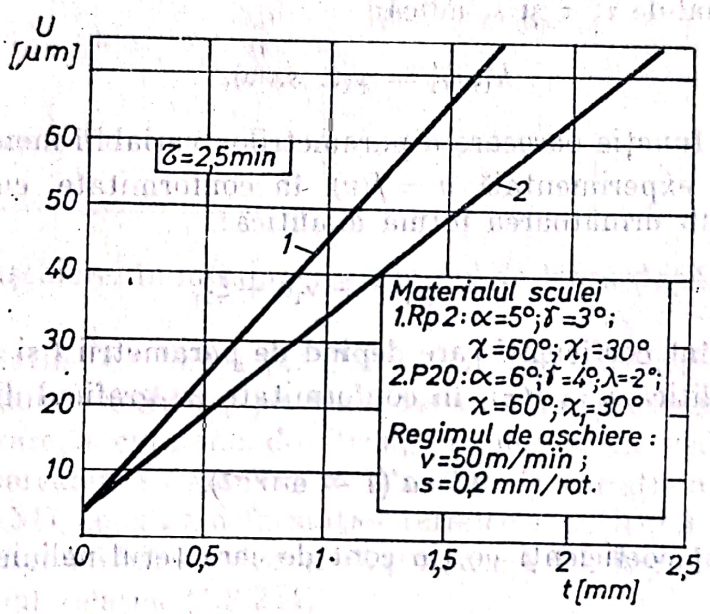


Fig. 4.3.54. Variaţia uzurii cuţitului în funcţie de adîncimea de aşchiere (v = constant; s = constant; τ = constant).

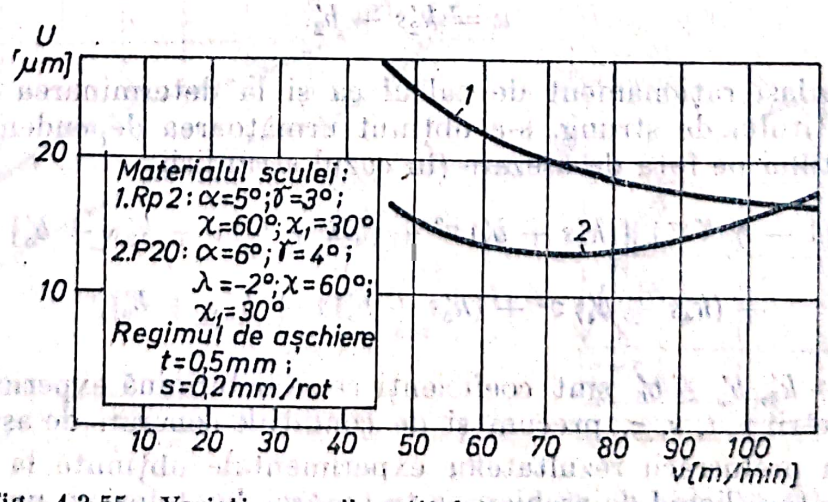


Fig. 4.3.55. Variaţia uzurii cuţitului în funcţie de viteza de aşchiere (t = constant; s = constant; τ = constant).

Scanned with OKEN Scanner

Rp2, s-au obținut următoarele relații analitice de calcul a uzurii pe fața de așezare a cuțitului de strung:

1 — la prelucrarea oțelului OLC45 cu cuțit armat cu plăcuță din carbură metalică P20:

$$u = (1 - e^{-0,1977 \cdot \tau}) \{[(- 0,0385\ s + 0,0158)\ v^2 + (6,555\ s - 2,5962)\ v - \\ - 269,9235\ s + 194,5158]\ t + (0,0257\ s + 0,0011)\ v^2 + (- 4,37\ s + \\ + 0,0256)\ v + 237,7897\ s - 30,42\}, \quad [\mu m]; \qquad (4.3.246)$$

2 — la prelucrarea aceluiași oțel, în condiții de lucru identice cu un cuțit din oțel rapid Rp2:

$$u = (1 - e^{-0,2447 \cdot \tau}) \{[(- 0,0425\ s + 0,0154)\ v^2 + (7,44\ s - 3,0198)\ v - \\ - 229,7595\ s + 191,8306]\ t + (0,019\ s - 0,0008)\ v^2 + \\ + (- 3,7747\ s + 0,1861)\ v + 154,9962\ s + 1,0942\}, \quad [\mu m]. \qquad (4.3.247)$$

Aplicație numerică exemplificatorie. În vederea exemplificării modului de calcul cu relațiile determinate pentru uzura radială (pe fața de așezare) a cuțitului de strung se prezintă următoarea aplicație numerică:

Să se determine uzura radială a cuțitului de strung armat cu plăcuță P20 fixată mecanic, în următoarele condiții de prelucrare: $v = 100$ m/min; $t = 1$ mm; $s = 0,2$ mm/rot; $\tau = 2,5$ min, materialul de prelucrat fiind OLC45.

Pentru acest caz de prelucrare, înlocuind valorile parametrilor de mai sus în relația (4.3.246) rezultă:

$$u = (1 - e^{-0,1977 \cdot 2,5}) \{[(- 0,0385 \cdot 0,2 + 0,0158) \cdot 10\,000 + \\ + (6,555 \cdot 0,2 - 2,5962) \cdot 100 - 269,9235 \cdot 0,2 + 194,5158] \cdot 1 + \\ + (0,0257 \cdot 0,2 + 0,0011) \cdot 10\,000 + (- 4,37 \cdot 0,2 + 0,0256)\ 100 + \\ + 237,7897 \cdot 0,2 - 30,42\} \cong 34,11\ \mu m.$$

Întrucît astfel de dependențe complexe ale uzurii pe fața de așezare nu s-au determinat și pentru alte prelucrări, în calculul erorii de prelucrare se pot folosi relațiile prezentate în continuare.

Uzura pe fața de așezare a dinților unei freze frontale sau a unui cap de frezat la finisare, se poate determina cu relația:

$$u = u_i + u_0 \frac{l \pi d_{fr}}{10^6 s_z z} \frac{\psi}{360^\circ}, \qquad (4.3.248)$$

unde l este lungimea suprafeței care se prelucrează, în mm; d_{fr} — diametrul frezei, în mm; s_z — avansul pe dinte, în mm; z — numărul de dinți ai frezei; ψ — unghiul de contact al frezei cu piesa care se prelucrează. Acest unghi se determină după relația:

$$\sin \frac{\psi}{2} = \frac{B}{d_{fr}},$$

unde B este lățimea suprafeței care se frezează, în mm (fig. 4.3.56).

Scanned with OKEN Scanner

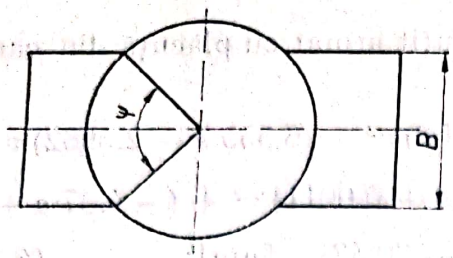


Fig. 4.3.56. Schema frezării cu freză frontală.

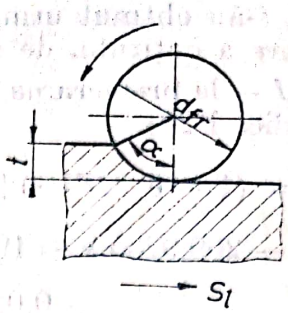


Fig. 4.3.57. Schema frezării cu freză cilindrică.

La frezarea cu freze cilindrice uzura u se poate determina după aceeași relație 4.3.248, numai că unghiul $\psi = \alpha$ (fig. 4.3.57) și în acest caz se calculează după relația:

$$\cos \alpha = 1 - \frac{2t}{d_{fr}},$$

t fiind adîncimea de așchiere, în mm.

La prelucrarea prin broșare a unui lot de n piese, uzura dinților este:

$$u = u_i + u_0 \frac{ln}{10^6}. \qquad (4.3.249)$$

l fiind lungimea suprafeței care se broșează a piesei, în mm.

Uzura relativă u_0 la prelucrarea prin strunjire se calculează după relația 4.3.235, iar la prelucrarea cu cap de frezat după relația:

$$u_0 = \left(1 + \frac{100 - 360}{\pi d_{fr} \psi}\right) u_{01}. \qquad (4.3.250)$$

unde d_{fr} este diametrul capului de frezat, în mm; ψ — unghiul de contact al dintelui frezei cu piesa care se prelucrează, în grade; u_{01} — uzura relativă la prelucrarea aceluraș materiale, însă la prelucrarea prin strunjire.

Atunci cînd diametrul capului de frezat este mai mare decît lățimea suprafeței B a piesei, uzura relativă u_0 se determină după relația aproximativă:

$$u_0 = \left(1 + \frac{B}{100}\right) u_{01}. \qquad (4.3.251)$$

La prelucrarea prin rectificare, uzura granulelor abrazive este relativ puțin studiată. Pentru redarea calităților așchietoare ale granulelor abrazive uzate, discul de rectificat se ascute, în general cu un vîrf de diamant.

Uzura pietrei de rectificat interior, la rectificarea aceluiași material este mult mai intensă decît a unui disc de rectificat exterior cu aceleași caracteristici fizico-mecanice (ca ale pietrei de rectificat interior).

Uzura pe rază a discului abraziv se poate determina, cu oarecare aproximație, funcție de volumul de metal îndepărtat de pe suprafața piesei care se prelucrează. Astfel, s-a observat că volumul de material abraziv consumat între două reascuțiri ale discului de rectificat este de 20 ori mai mic decît volumul de metal îndepărtat în aceeași perioadă de timp de pe suprafața piesei.

Scanned with OKEN Scanner

Pe baza acestei observații din practică, relația după care se poate calcula uzura pe rază a discului de rectificat se poate determina în felul următor:

Fie F — suprafața care se rectifică, în mm²; a_b — adaosul de prelucrare care se îndepărtează de pe suprafața piesei, în mm; n — numărul de piese din lotul de piese; F_{ad} — suprafața aşchietoare a discului de rectificat, în mm². În acest caz:

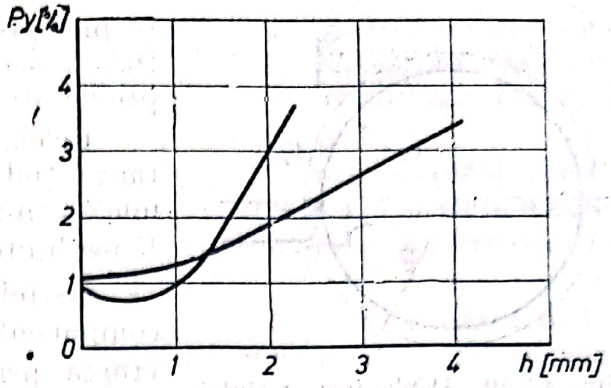


Fig. 4.3.58. Variația componentei F_y a forței de aşchiere în funcție de variația uzurii h măsurată pe fața de aşezare.

$$\frac{Fa_b n}{20} = uF_{ad}. \tag{4.3.252}$$

de unde rezultă că

$$u = \frac{Fa_b n}{20 F_{ad}}. \tag{4.3.253}$$

Uzura tăişului sculei are influență nu numai asupra preciziei de prelucrare în mod direct, ci şi în mod indirect prin mărirea componentei radiale F_y a forței de aşchiere.

Variația componentei F_y a forței de aşchiere în funcție de mărimea uzurii pe față de aşezare h este reprezentată în figura 4.3.58, în cazul prelucrării pieselor confecționate din oțel.

În perioada de timp egală cu durabilitatea sculei, componenta F_y poate să crească cu cîteva zeci de procente față de valoarea inițială, funcție de variația uzurii h.

● Deformația elastică a sistemului tehnologic MUPS. În timpul procesului de aşchiere, sub influența forței de aşchiere şi a altor forțe, diferitele ansambluri şi subansambluri ale maşinii-unelte, dispozitivul în care este fixată piesa care se prelucrează, aceasta din urmă, precum şi scula aşchietoare se deplasează din poziția lor inițială, lucru care se reflectă negativ asupra preciziei de prelucrare, asupra calității suprafeței prelucrate şi asupra productivității prelucrării.

În literatura de specialitate s-a înrădăcinat noțiunea de sistem tehnologic maşină-unealtă-piesă-sculă, *MUPS*, care simbolizează lanțul de elemente enumerate.

Deformația elastică a sistemului tehnologic *MUPS* este funcție de valoarea forței care acționează asupra lui şi mărimea rigidității.

Sub noțiunea de rigiditate, după cum se ştie, se înțelege raportul dintre forță şi deformația provocată. Rigiditatea sistemului tehnologic (notată de obicei cu j) este egală cu raportul dintre forța de aşchiere F şi deformația y provocată de aceasta, adică:

$$j = \frac{F}{y}, \text{ N/mm}. \tag{4.3.254}$$

Din punct de vedere al preciziei de prelucrare pe tehnolog îl interesează numai acele deformații ale sistemului tehnologic, care fac ca muchia aşchietoare, respectiv vîrful sculei, să se deplaseze în direcție normală pe suprafața care

Scanned with OKEN Scanner

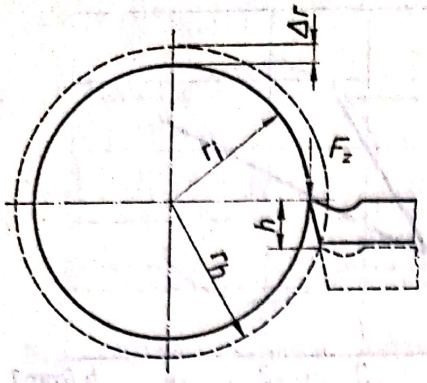


Fig. 4.3.59. Deplasarea vîrfului cuțitului în direcția tangentei cu mărimea h.

se prelucrează, întrucît această deplasare influențează în mod direct asupra preciziei de prelucrare și rugozității suprafeței prelucrate.

Celelalte deformații, în direcția axială sau tangențială influențează într-o măsură atît de mică asupra preciziei de prelucrare, încît pot fi neglijate.

Astfel, fie de exemplu, ca sub acțiunea componentei F_z a forței de așchiere, la prelucrarea prin strunjire, vîrful cuțitului să fie deplasat tangențial (adică chiar în direcția vectorului forță) cu o mărime h, cum se vede în figura 4.3.59.

Acest lucru face ca raza suprafeței să se mărească cu Δ_r a cărei valoare se determină în modul următor:

$$\Delta_r = r_h - r_i = \sqrt{r_i^2 + h^2} - r_i = r_i\left[\left(1 + \frac{h^2}{r_i^2}\right)^{\frac{1}{2}} - 1\right]. \qquad (4.3.255)$$

Paranteza mică se dezvoltă în serie, se iau numai primii doi termeni ai seriei, restul fiind neglijabil de mici și se obține:

$$\left(1 + \frac{h^2}{r_i^2}\right)^{\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2}\frac{h^2}{r_i^2}, \qquad (4.3.256)$$

care dacă se introduce în relația precedentă, rezultă

$$\Delta r = r_i\left(1 + \frac{1}{2}\frac{h^2}{r_i^2} - 1\right) = \frac{h^2}{2_{r_i}} = \frac{h^2}{D}, \qquad (4.3.257)$$

unde D este diametrul piesei în secțiunea respectivă.

Exemplul numeric

Fie $h = 0{,}2$ mm $D = 50$ mm.

Rezultă: $\Delta_r = \dfrac{0{,}2^2}{50} = 0{,}0008$ mm.

Dacă vîrful cuțitului sub acțiunea componentei F_y a forței de așchiere se deplasează cu aceeași mărime de 0,2 mm în direcția componentei F_y, raza r_i a suprafeței se va mări tot cu 0,2 mm.

Se vede deci, că influența deformațiilor sistemului tehnologic în direcție normală pe suprafața care se prelucrează, este de $\dfrac{0{,}2}{0{,}0008} = 250$ ori mai mare decît a deformațiilor în direcție tangențială, ceea ce permite ca acestea din urmă să fie neglijate.

Așa cum s-a arătat mai sus, deformația sistemului tehnologic *MUPS* nu este constantă în timpul desfășurării procesului de așchiere. Ea se schimbă o dată cu schimbarea forței de așchiere, care la rîndul ei variază o dată cu variația adîncimii de așchiere.

Întrucît pînă în prezent nu este posibilă determinarea analitică a mărimii deplasării vîrfului cuțitului, respectiv a sculei așchietoare și a celorlalte elemente ale sistemului tehnologic în timpul procesului de așchiere sub acțiu-

Scanned with OKEN Scanner

nea forțelor datorate acestuia, determinarea se face pe cale experimentală, apoi utilizînd relația (4.3.254) se poate calcula rigiditatea elementului respectiv.

Determinarea experimentală a rigidității sistemului tehnologic poate fi făcută după două metode: statică și dinamică.

După metoda statică, elementul sistemului tehnologic a cărui rigiditate se determină, se încarcă cu ajutorul unui dinamometru cu o forță a cărei valoare variază treptat, iar deformația produsă, se măsoară cu un instrument de măsură (de obicei un ceas comparator).

Variația rigidității elementului respectiv, în funcție de variația forței de încărcare și a deformației produse se poate reprezenta grafic într-un sistem de axe rectangulare, ca în figura 4.3.60.

Rigiditatea în orice moment de timp se caracterizează prin tangenta în punctul corespunzător la curba de variație a încărcării și abscisă.

Astfel pentru punctul M rigiditatea este $j = \lim_{\Delta y \to 0} \frac{\Delta F}{\Delta y} = \operatorname{tg} \alpha$, iar pentru punctul M_1 rigiditatea este $j_1 = \operatorname{tg} \alpha_1$.

Rigiditatea medie se poate scrie ca fiind egală cu:

$$j_{med} = \frac{F}{y} = \frac{\overline{MN}}{\overline{ON}} = \operatorname{tg} \alpha_{med}.$$

Întrucît în timpul procesului de așchiere forța de așchiere variază atît ca valoare cît și ca direcție, adică vectorial, în [9] se propune a se determina rigiditatea ca fiind cîtul dintre raportul forței echivalente F_e și deformația elastică a piesei.

Forța echivalentă se determină din egalitatea momentelor tuturor forțelor în raport cu polul instantaneu de răsturnare după relația:

$$m_0(F_e) = \sum_{i=1}^{n} m_0(F_i), \qquad (4.3.258)$$

unde n este numărul forțelor respective.

În figura 4.3.61 este dată drept exemplu schema forțelor care acționează asupra suportului în timpul strunjirii libere.

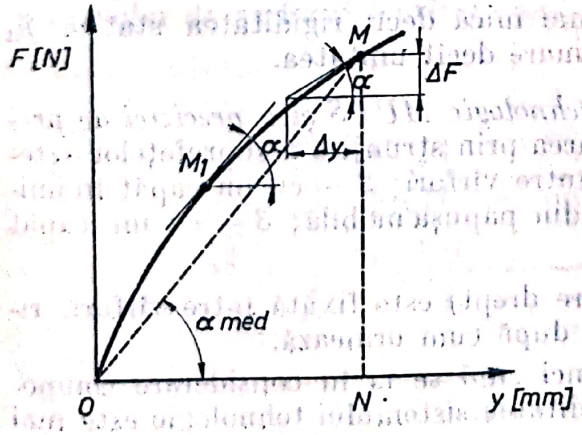


Fig. 4.3.60. Variația deformației elastice în funcție de variația forței de încărcare.

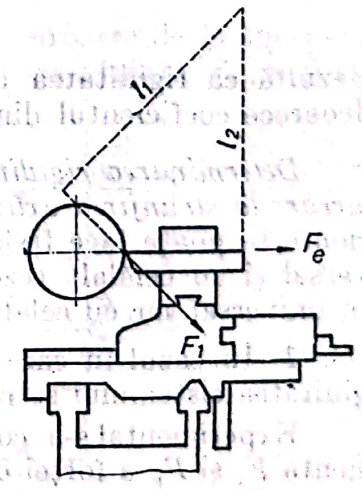


Fig. 4.3.61. Reprezentarea schematică a forțelor care acționează asupra suportului în timpul strunjirii libere.

Forța echivalentă se determină din egalitatea momentelor $F_1 l_1 = F_e l_2$, de unde rezultă

$$F_e = \frac{F_1 l_1}{l_2}. \tag{4.3.259}$$

Metoda statică de determinare a rigidității are un mare dezavantaj, deoarece consideră forța care acționează asupra sistemului ca fiind constantă. În realitate însă, aceasta are un caracter variabil, oscilînd între F_{min} și F_{max}. Valoarea rigidității sistemului tehnologic *MUPS* este funcție în mare măsură de calitatea îmbinărilor și jocurilor de îmbinările elementelor sistemului tehnologic, care în stare statică au un efect, iar în stare dinamică altul, asupra mărimii deformațiilor. Acest lucru se explică prin calitatea asamblării, calitatea suprafețelor îmbinărilor, micro și macrogeometria lor, precum și prin justețea calculelor de proiectare. Rigiditatea de contact se recomandă să se calculeze, ținînd seama de sarcina dinamică aplicată și de valoarea temperaturii mașinii-unelte. Atunci cînd ansamblurile și subansamblurile mașinii sînt încălzite, jocurile din îmbinări sînt mai mici din cauza deformației termice, ceea ce face ca rigiditatea să crească.

Determinarea rigidității după metoda dinamică se face în timpul efectuării procesului de așchiere, cînd în sistemul tehnologic *MUPS* apar solicitări cu caracter dinamic variabile. În acest caz compresiunile din îmbinările sistemului sînt mai mari decît în stare statică. Pentru a caracteriza sistemul tehnologic *MUPS* în stare activă de lucru se introduce în calcule un coeficient dinamic, notat cu μ care se poate determina fie experimental, fie analitic. Cunoscînd coeficientul μ se poate lega cedarea dinamică W_d și cea statică W_{st} a sistemului tehnologic respectiv prin următoarea relație:

$$W_d = W_{st}\mu, \tag{4.3.259'}$$

cunoscînd că cedarea este inversul rigidității $\left(W = \frac{1}{j}\right)$.

Din relația (4.3.259') se determină rigiditatea dinamică ca fiind:

$$j_d = \frac{j_{st}}{\mu}. \tag{4.3.260}$$

Rezultă că rigiditatea dinamică este mai mică decît rigiditatea statică j_{st} deoarece coeficientul dinamic este mai mare decît unitatea.

Determinarea rigidității sistemului tehnologic MUPS și a preciziei de prelucrare la strunjirea exterioară. Prelucrarea prin strunjire a suprafețelor exterioare se poate face fixînd piesa: *1* — între vîrfuri; *2* — cu un capăt în universal și cu celălalt rezemat în vîrful din păpușa mobilă; *3* — cu un capăt în universal iar cu celălalt liber.

1. În cazul în care piesa (un arbore drept) este fixată între vîrfuri, rigiditatea sistemului se poate determina după cum urmează.

Experimental s-a constatat că atunci cînd se ia în considerare componenta F_z și F_y a forței de așchiere, rigiditatea sistemului tehnologic este mai mare. De aceea, în calculele care se fac se ia componenta rezultantă a celor două componente amintite:

$$F_{r_{yz}} = \sqrt{F_y^2 + F_z^2}.$$

Scanned with OKEN Scanner

În calculul rigidității se pleacă de la ipoteza că deformația sau săgeata admisibilă a piesei y_{adm} trebuie să fie mai mare decît deformația sau săgeata dinamică y_{din}, aceasta din urmă fiind:

$$y_{din} = y_{st}\mu \leqslant y_{adm}. \tag{4.3.261}$$

Săgeata maximă admisibilă statică a piesei atunci cînd forța aplicată se află la mijlocul distanței l dintre cele două reazeme (vîrfuri), după cum se știe, este: $y_{st} = \dfrac{F_{ryz} l^3}{48\,EI}$. Conform ipotezei admise (4.3.261) care asigură obținerea preciziei impuse piesei care se prelucrează, rezultă:

$$y_{din} = \frac{F_{ryz} l^3}{48\,EI}\mu \leqslant y_{adm}. \tag{4.3.262}$$

Din această relație după transformările necesare se obține valoarea componentei F_z a forței de așchiere:

$$F_z = \frac{3\,E\pi d^4 y_{adm}}{4\sqrt{1{,}25}\,\mu l^3} = \frac{KEy_{adm}d}{c^3\mu}, \tag{4.3.263}$$

unde $k = 1{,}9$ pentru $F_y = 0{,}5\,F_z$; $k = 1{,}5$ pentru $F_z = F_z$.

Ținînd seama de rigiditatea mașinii-unelte, forța admisibilă de așchiere va fi:

$$F_z = \frac{KEd}{c^3\mu}(y_{adm} - y_{maș}), \tag{4.3.264}$$

unde: d este diametrul piesei care se prelucrează; E — modulul de elasticitate; I — momentul de inerție a secțiunii transversale a piesei.

Atît studiile teoretice cît și verificările experimentale au arătat că rigiditatea scăzută a sistemului tehnologic *MUPS* duce la deformația acestuia și deci și a piesei care se prelucrează, reduce productivitatea prelucrării și înrăutățește calitățile de lucru ale mașinii.

Pentru determinarea rigidității mașinii-unelte se consideră că piesa care se prelucrează (arbore drept) are o rigiditate absolută și strunjirea se face cu o forță constantă de așchiere.

Așa cum se vede în figura 4.3.62, la un moment oarecare de la începerea procesului de așchiere, cuțitul, respectiv componenta rezultantă F_{ryz} a forței

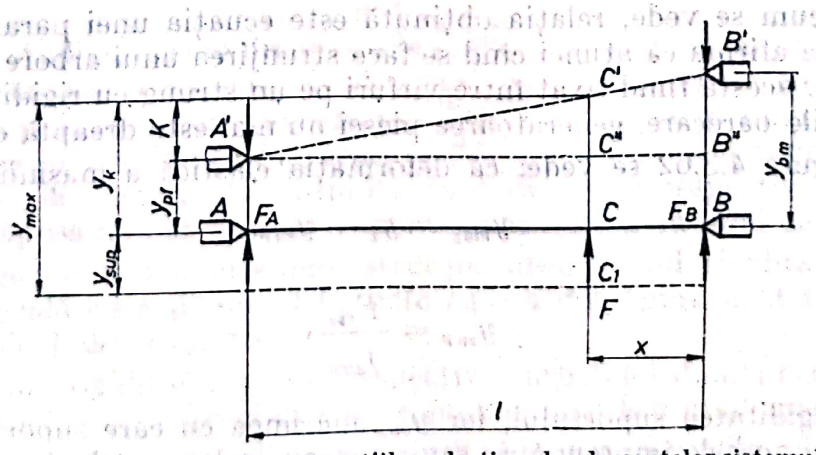


Fig. 4.3.62. Schema deformațiilor elastice ale elementelor sistemului tehnologic mașină-unealtă-piesă-sculă în timpul prelucrării.

Scanned with OKEN Scanner

de așchiere se află la distanța x de la păpușa mobilă. Acest lucru face ca sub influența acțiunii forțelor din reazeme, păpușa mobilă, păpușa fixă și suportul port-cuțit, împreună cu sania transversală să se deplaseze din poziția lor inițială cu o mărime y_{pm}, y_{pf}, respectiv y_{sup}. Asupra suportului acționînd tot timpul o forță constantă, deplasarea lui, y_{sup}, este și ea constantă, iar axa de rotație a piesei ocupă poziția din AB în $A'B'$.

Mărimea y cu care s-a deplasat axa de rotație a piesei din poziția C în C' este:

$$y_x = y_{pf} + K. \tag{4.3.265}$$

Mărimile cu care s-au deplasat păpușile fixă și mobilă sînt:

$$y_{pf} = \frac{F_A}{j_{pf}}; \quad y_{pm} = \frac{F_B}{j_{pm}}. \tag{4.3.266}$$

unde: j_{pf}, j_{pm} reprezintă rigiditatea păpușii fixe, respectiv a păpușii mobile; F_A, F_B — forțele (compresiunile) din păpușa fixă, respectiv din păpușa mobilă.

Acestea din urmă sînt:

$$F_A = F_{r_{yz}} \frac{x}{l}; \quad F_B = F_{r_{yz}} \frac{l-x}{l} \tag{4.3.267}$$

Ținînd seama de relațiile (4.3.267) relațiile precedente devin:

$$y_{pf} = F_{r_{yz}} \frac{1}{j_{pf}} \frac{x}{l}; \quad y_{pm} = F_{r_{yz}} \frac{1}{j_{pm}} \frac{l-x}{l}. \tag{4.3.268}$$

Introducînd în relația (4.3.265) valoarea deformației păpușii fixe se obține:

$$y_x = \frac{F_{r_{yz}}}{j_{pf}} \frac{x}{l} + K. \tag{4.3.269}$$

Valoarea lui K se determină din asemănarea triunghiurilor $A'C'C''$ și $A'B'B''$, rezultînd după introducerea acesteia în relația (4.3.265) precum și a relațiilor (4.3.268) pentru y_x relația

$$y_x = \frac{F_{r_{yz}}}{j_{pf}} \left(\frac{x}{l}\right)^2 + \frac{F_{r_{yz}}}{j_{pm}} \left(\frac{l-x}{l}\right)^2. \tag{4.3.270}$$

După cum se vede, relația obținută este ecuația unei parabole, ceea ce ne permite a afirma că atunci cînd se face strunjirea unui arbore cu rigiditate foarte mare, acesta fiind fixat între vîrfuri pe un strung cu rigiditatea păpușii fixe și mobile oarecare, generatoarea piesei nu mai este dreaptă ci parabolică.

Din figura 4.3.62 se vede, că deformația elastică a mașinii este:

$$y_{maș} = y_x + y_{sup}, \tag{4.3.271}$$

unde

$$y_{sup} = \frac{F_{r_{yz}}}{j_{sup}}, \tag{4.3.272}$$

j_{sup} fiind rigiditatea suportului, iar y_{sup} mărimea cu care suportul împreună cu cuțitul și ambele împreună cu sania transversală s-au deplasat din poziția inițială.

Scanned with OKEN Scanner

Se poate scrie:

$$y_{maş} = F_{r_{yz}} \left[\frac{1}{j_{pf}} \left(\frac{x}{l} \right)^2 + \frac{1}{j_{pm}} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + \frac{1}{j_{sup}} \right]; \qquad (4.3.273)$$

$$j_{maş} = \frac{F_{r_{yz}}}{y_{maş}} = \frac{1}{\frac{1}{j_{pf}} \left(\frac{x}{l} \right)^2 + \frac{1}{j_{pm}} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + \frac{1}{j_{sup}}}. \qquad (4.3.274)$$

În cazul în care forţa care acţionează asupra piesei este în punctul $\frac{l}{2}$, deformaţia şi rigiditatea maşinii este:

$$y_{maş} = \frac{F_{r_{yz}}}{4} \left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{pm}} \right) + \frac{F_{r_{yz}}}{j_{sup}}; \qquad (4.3.275)$$

$$j_{maş} = \frac{4}{\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{pm}} + \frac{4}{j_{sup}}}. \qquad (4.3.276)$$

Mărimea cu care se micşorează raza r a piesei datorită deplasări păpuşii mobile şi păpuşii fixe este egală cu y_x exprimată prin relaţia (4.3.270), iar atunci cînd şi suportul se deplasează din poziţia lui iniţială cu y_{sup} eroarea razei este Δr, fiind egală cu $y_{maş}$ din relaţia (4.3.273).

Calculul rigidităţii maşinii după relaţia (4.3.276) este foarte incomod. De aceea se înlocuieşte rigiditatea cu inversul ei, adică cu *cedarea* notată cu W, obţinîndu-se din relaţia amintită următoarea relaţie a cedării maşinii:

$$W_{maş} = W_{pf} \left(\frac{x}{l} \right)^2 + W_{pm} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + W_{sup}. \qquad (4.3.277)$$

Deformaţia maşinii poate fi exprimată în funcţie de cedare, înlocuind în relaţia (4.3.275) valoarea cedării $\left(W = \frac{1}{j} \right)$:

$$y_{maş} = F_{r_{yz}} \left[W_{pf} \left(\frac{x}{l} \right)^2 + W_{pm} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + W_{sup} \right]. \qquad (4.3.278)$$

În cazul studiat, arbore drept cu rigiditatea absolută, strunjit între vîrfuri deformaţia elastică a sistemului tehnologic este egală chiar cu deformaţia elastică a maşinii, deoarece deformaţia elastică a sculei în direcţie normală pe direcţia forţei rezultante $F_{r_{yz}}$ are o influenţă foarte mică asupra preciziei de prelucrare, iar deformaţia dispozitivului (în cazul respectiv vîrfurile de strung din păpuşa mobilă şi fixă) se poate considera şi ea fiind egală cu zero.

Forma geometrică a arborelui strunjit, atunci cînd rigiditatea păpuşii mobile este egală cu a păpuşii fixe, este ca cea din figura 4.3.63 egală cu a unui hiperboloid de revoluţie.

Atunci cînd rigiditatea piesei (respectiv a arborelui drept) care se prelucrează este mică, forma generatoarei se supune unei legi mult mai complexe.

În acest caz, datorită cedării, respectiv săgeţii mari a arborelui cînd cuţitul aşchiază la mijlocul distanţei între cele două vîrfuri, adîncimea de aşchiere

Scanned with OKEN Scanner

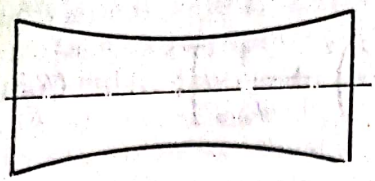


Fig. 4.3.63. Forma geometrică a unui arbore cu rigiditatea foarte mare strunjit pe un strung cu rigiditatea păpușii fixe și mobile egală.

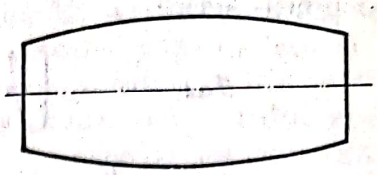


Fig. 4.3.64. Forma geometrică a unui arbore cu rigiditatea foarte mică strunjit pe un strung cu rigiditatea păpușii fixe și mobile egală.

este mai mică în această secțiune la cele două capete, obținîndu-se astfel o piesă cu forma de butoiaș, cum se vede în figura 4.3.64.

Dacă se introduce relația deformației mașinii (4.3.265) în relația (4.3.264) după transformările necesare se obține relația componentei F_z a forței de așchiere, cu care trebuie să se facă prelucrarea, pentru a nu se obține o deformație mai mare a mașinii decît cea admisibilă y_{adm} care asigură obținerea preciziei de prelucrare impusă piesei care se prelucrează:

$$F_z = \frac{KEdy_{adm}}{c^3\mu + \left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{pm}}\right) + \frac{1}{j_{sup}}\right] 2{,}1\ Ed}. \qquad (4.3.279)$$

În tabela 4.3.6 sînt prezentate valorile lui F_z calculate cu ajutorul relației (4.3.279), pentru cazul în care $F_y = F_z$ și pentru $F_y = 0{,}5\ F_z$.

Din relația componentei F_z a forței de așchiere (4.3.279), dacă aceasta se înlocuiește cu $F_z = C_{Fz} t^{x_{Fz}} s^{y_{Fz}}$, se poate determina mărimea avansului de lucru și a adîncimii de așchiere care asigură deformația admisibilă a mașinii și a piesei, respectiv precizia de prelucrare impusă piesei. Astfel, rezultă că avansul de lucru trebuie să fie:

$$s = \sqrt[y_{Fz}]{\frac{KEdy_{adm}}{C_{Fz} t^{x_{Fz}} \left\{c^3\mu + \left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{pm}}\right) + \frac{1}{j_{sup}}\right] 2{,}1\ Ed\right\}}}. \qquad (4.3.280)$$

Atunci cînd adîncimea de așchiere nu este îngrădită de adaosul de prelucrare, aceasta trebuie să fie:

$$\sqrt[y_{Fz}]{\frac{KEdy_{adm}}{C_{Fz} s^{y_{Fz}} \left\{c^3\mu + \left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{pm}}\right) + \frac{1}{j_{sup}}\right] 2{,}1\ Ed\right\}}}, \qquad (4.3.281)$$

unde $K = 1{,}9$ cînd $F_y = 0{,}5\ F_z$; $K = 1{,}5$ cînd $F_y = F_z$.

În figura 4.3.65 este reprezentată variația avansului limită în funcție de diametrul care se prelucrează pe mașini-unelte cu diferite rigidități. Valoarea avansului este dată atît în coordonate obișnuite (a) cît și în coordonate logaritmice (b). Diagramele au fost trasate utilizînd relația (4.3.280), valabile atît pentru cazul în care prelucrarea se face cu cuțite ascuțite, cît și uzate

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.3.6

Valorile lui F_z atunci cînd: $j_{pf} = 100\,000$ N/mm; $j_{pm} = 50\,000$ N/mm. $j_{sup} = 75\,000$ N/mm.

	a_{adm}, mm	$c = \frac{l}{d}$ / d, mm	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$F_y = F_z$	0,05	25	132	101	76	57	44	34	30	20	16	13	11
		50	165	141	116	95	77	67	50	41	34	28	23
		100	188	170	151	132	114	96	81	69	58	49	42
		150	198	184	170	152	135	115	103	90	76	65	62
		200	202	191	178	164	148	133	117	105	92	79	68
	0,1	25	264	202	152	114	88	68	60	40	32	26	22
		50	330	282	232	190	154	134	100	22	68	56	46
		100	376	340	302	264	238	192	162	138	116	98	84
		150	396	368	340	304	270	230	205	180	152	130	124
		200	404	382	356	328	296	266	234	210	184	158	136
	0,2	25	828	404	304	228	176	136	120	80	64	52	44
		50	660	564	464	360	308	268	200	164	136	112	92
		100	752	680	604	528	456	384	324	276	232	196	138
		150	792	736	680	608	540	460	412	360	304	260	248
		200	808	764	712	656	612	532	468	420	368	316	272
$F_y = 0{,}5F_z$	0,05	25	106	81	61	45	35	27	24	16	13	11	9
		50	132	113	93	76	62	54	45	33	31	23	19
		100	151	136	121	106	91	77	65	55	47	39	34
		150	159	147	136	122	108	92	83	72	61	52	50
		200	162	153	142	131	118	106	94	84	74	63	54
	0,1	25	212	162	122	90	70	54	48	32	26	22	18
		50	264	296	186	152	124	108	90	66	62	46	38
		100	302	272	242	212	182	154	130	110	94	78	68
		150	318	294	272	244	216	184	166	144	122	104	100
		200	324	306	204	262	236	212	188	168	148	126	108
	0,2	25	424	324	244	180	140	108	96	64	52	44	36
		50	528	452	372	304	248	216	180	122	114	92	78
		100	604	544	484	424	368	308	260	220	188	156	136
		150	636	588	544	488	432	368	332	288	274	208	200
		200	648	612	568	524	472	414	376	336	296	252	216

Scanned with OKEN Scanner

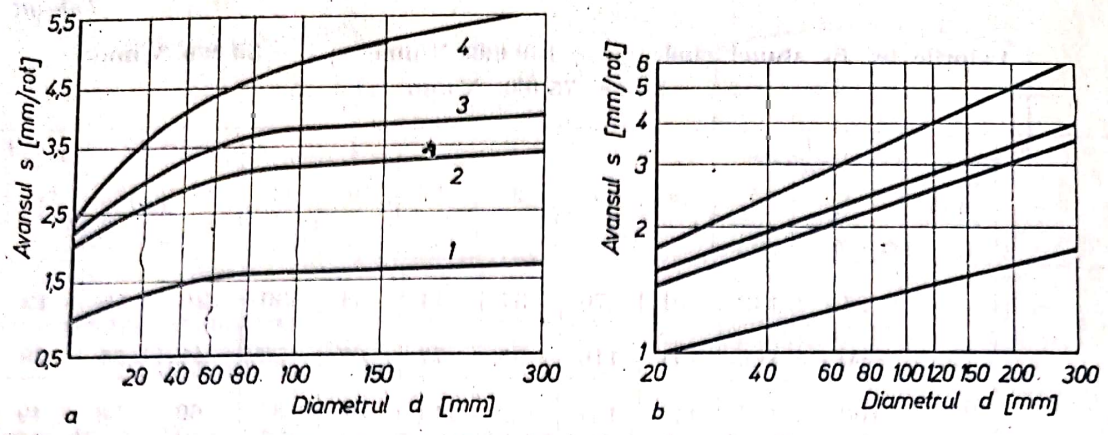


Fig. 4.3.65. Variația avansului limită:
a — în coordonate obișnuite; *b* — în coordonate logaritmice, în funcție de diametrul piesei strunjite pe strunguri cu diferite rigidități (*1*, *2*, *3*, *4* — vezi tabelul 4.3.7).

(pînă la limita admisibilă). Valorile coeficienților pentru cazul în care materialul de prelucrat este oțel de construcții, sînt:

$$y_{F_z} = 0{,}75;\ t = 1 \text{ mm și coeficientul dinamic } \mu = 1{,}2.$$

În figura 4.3.66 se redă dependența avansului de rigiditatea sistemului tehnologic *MUPS* pentru diferite valori ale raportului $c = \frac{l}{d}$. Valoarea coeficientului C_{F_z} și a exponenților x_{F_z} și y_{F_z} este aceeași ca și în cazul precedent. De asemenea μ și t sînt aceiași.

În tabela 4.3.7 sînt date valorile avansului la prelucrarea pieselor între vîrfuri cu cuțite ascuțite pe mașini cu diferite rigidități ale sistemului tehnologic *MUPS*. Pentru a se găsi ușor avansurile, în acest tabel sînt prezentate și relațiile lor de calcul obținute din relația (4.3.280) pentru condițiile lor de lucru date.

În unele cazuri, avansurile determinate trebuie să fie verificate în funcție de rigiditatea cuțitului. Astfel în cazul strunjirii la care cuțitul a început să se uzeze, avansul trebuie verificat după relația:

$$F_z = \frac{3\ EIf_{adm}}{\sqrt{2L_p^3\mu}}. \qquad (4.3.282)$$

Dacă se introduce în această relație valoarea lui $F_z = C_{F_z}\ t^{x_{F_z}} s^{y_{F_z}}$ și a momentului de inerție pentru secțiunea dreptunghiulară a corpului cuțitului

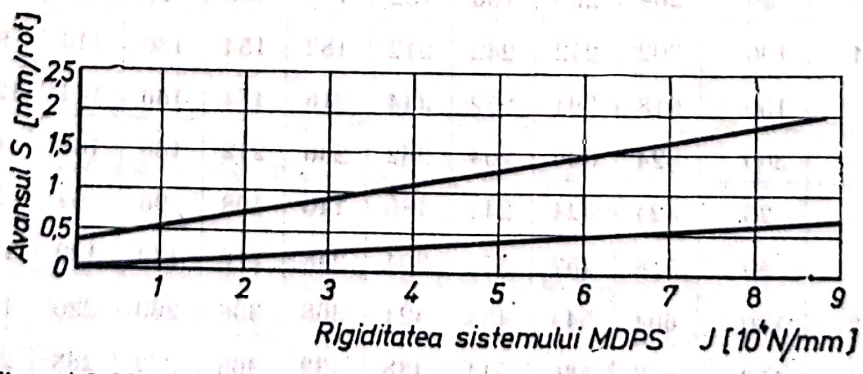


Fig. 4.3.66. Dependența avansului longitudinal de rigiditatea sistemului tehnologic *MUPS* pentru diferite valori ale raportului $c = l/d$.

Tabelul 4.3.7

Valorile avansului la prelucrarea între vîrfuri, cu cuțite ascuțite cu diferite rigidități ale sistemului MUPS

Avansul s în mm/rot.	Rigiditatea j, N/mm	Diametrul piesei care se prelucrează d, în mm								
		20	40	60	80	100	120	150	200	300
1. $\sqrt[0,75]{\frac{22,3\ d}{c^3\mu + 15,3\ d}}$	$j_{pf} = 50\ 000$ $j_{pm} = 30\ 000$ $j_{sup} = 40\ 000$	0,970 0,127	1,234 0,389	1,350 0,542	1,416 0,665	1,458 0,763	1,488 0,845	1,518 0,943	1,550 0,063	1,583 1,212
2. $\sqrt[0,75]{\frac{22,3\ d}{c^3\mu + 8,3\ d}}$	$j_{pf} = 100\ 000$ $j_{pm} = 50\ 000$ $j_{sup} = 70\ 500$	1,548 0,225	2,272 0,486	2,629 0,726	2,846 0,943	2,963 1,133	3,028 1,301	3,209 1,518	3,328 1,808	3,455 2,210
3. $\sqrt[0,75]{\frac{22,3\ d}{c^3\mu + 7,8\ d}}$	$j_{pf} = 200\ 000$ $j_{pm} = 50\ 000$ $j_{sup} = 70\ 500$	1,881 0,228	2,460 0,498	2,875 0,752	3,130 0,982	3,304 1,187	3,428 1,370	3,562 1,610	3,705 1,934	3,858 2,390
4. $\sqrt[0,75]{\frac{22,3\ d}{c^3\mu + 5,8\ d}}$	$j_{pf} = 200\ 000$ $j_{pm} = 70\ 500$ $j_{sup} = 100\ 000$	1,992 0,236	3,098 0,849	3,735 0,823	4,146 1,097	4,234 1,432	4,643 1,583	4,872 1,896	5,122 2,336	5,304 2,993

Observație: săgeata admisibilă $f_{adm} = 0,1$ mm; la numărător sînt trecute valorile avansului pentru $c = \frac{l}{d} = 5$, iar la numitor pentru $c = \frac{l}{d} = 10$.

Scanned with OKEN Scanner

$I = \frac{bh^3}{12}$, precum și valoarea săgeții maxime admisibile $f = 0{,}1$ mm, se obține relația avansului:

$$s = \sqrt[y_{F_z}]{\frac{Ebh^3}{66\, L_p^3 C_{F_z} t^{x_{F_z}} \mu}}, \tag{4.3.283}$$

unde b și h reprezintă lățimea și înălțimea secțiunii corpului cuțitului; L_p — lungimea în consolă a cuțitului.

În cazul în care secțiunea corpului cuțitului este pătrată ($b = h$) se obține următoarea relație a avansului:

$$s = \sqrt[y_{F_z}]{\frac{Eb^4}{66 L_p^3 C_{F_z} t^{x_{E_z}} \mu}}. \tag{4.3.284}$$

Atunci cînd secțiunea corpului cuțitului este circulară se obține pentru verificarea avansului relația:

$$s = d^2 \sqrt[y_{F_z}]{\frac{0{,}15\, Ef_{adm}}{L_p^3 C_{F_z} t^{x_{F_z}} \mu}}. \tag{4.3.285}$$

În figura (4.3.67) este prezentată variația avansului longitudinal în funcție de lungimea în consolă a cuțitului și secțiunea dreptunghiulară a corpului cuțitului, în coordonate obișnuite (*a*) și logaritmice (*b*). Valorile mari ale avansului corespund lungimilor mici în consolă (30—40 mm). Cu mărirea lungimii în consolă L_p, valoarea avansului scade foarte mult. Astfel de exemplu, la prelucrarea din oțel de construcții, pentru care $C_{F_z} = 184$, cu un cuțit cu secțiunea corpului 16×25 mm, cu lungimea în consolă de 40 mm, rezultă un avans de 5,46 mm/rot., cînd lungimea în consolă s-a luat de 80 mm, rezultă un avans de numai 1,08 mm/rot.

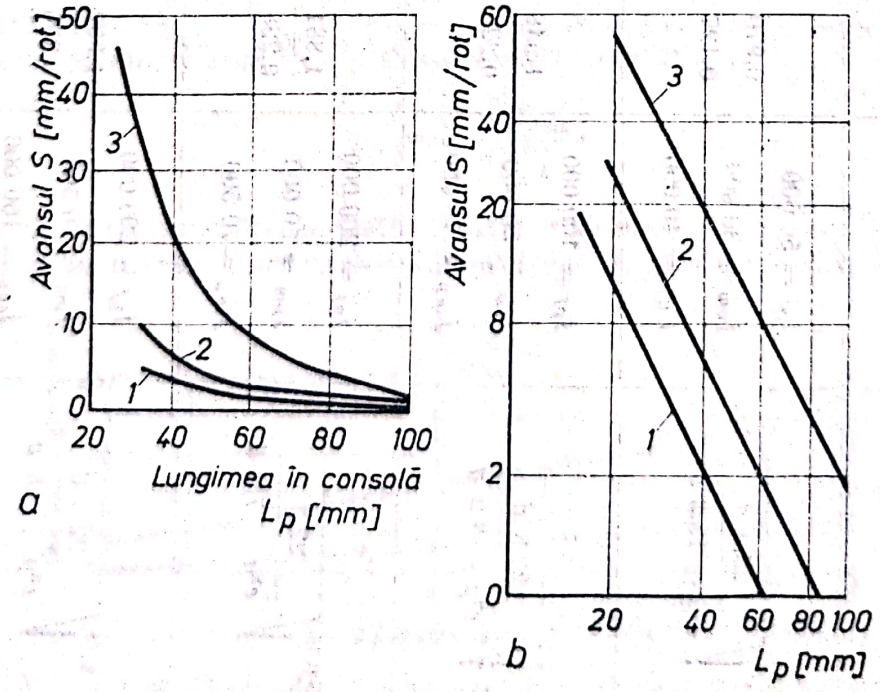


Figura 4.3.67. Dependența avansului longitudinal de lungimea în consolă și secțiunea corpului cuțitului (*1* — 12×20 mm; *2* — 16×25 mm; *3* — 25×40 mm).

2. Al doilea caz, întîlnit la strunjirea arborilor, este acela în care piesa este fixată cu un capăt în universal, iar cu celălalt este rezemată în vîrful din păpușa mobilă.

În calculul rigidității se pleacă de la aceeași ipoteză ca și în cazul precedent, exprimată prin relația (4.3.261), obținîndu-se aceleași relații pentru deformația și rigiditatea mașinii (4.3.273), respectiv (4.3.74).

Dacă se introduce valoarea săgeții maxime a piesei în stare statică $y_{max} = 0{,}0098 \frac{F_{ryz} l^3}{EI}$ în relația (4.3.261), se obține relația de calcul a săgeții dinamice cînd $F_y = 0{,}5\ F_z$.

$$y_{din} = \frac{\sqrt{1{,}25} F_z \mu l^3}{102\ EI} \leqslant y_{adm}, \tag{4.3.286}$$

din care rezultă

$$F_z = \frac{102\ EI y_{adm}}{\sqrt{1{,}25}\ \mu l^3} = \frac{4{,}4\ Edy_{adm}}{c^3 \mu}. \tag{4.3.287}$$

Cînd $F_y = F_z$, în loc de $K = 4{,}4$ se scrie $K = 3{,}5$.

Dacă se ține seama de rigiditatea mașinii, componenta F_z a forței de așchiere admisibilă va fi:

$$F_z = \frac{KEd}{c^3 \mu} (y_{adm} - y_{maș}). \tag{4.3.288}$$

Dacă în această ultimă relație se introduce relația deformației mașinii (4.3.275), se obține F_z admisibil care asigură la strunjirea cu un regim de așchiere corespunzător (care nu dezvoltă o forță de așchiere a cărei componentă F_z să fie mai mare) obținerea unei deformații admisibile:

$$F_z = \frac{KEdy_{adm}}{c^3 \mu + \left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{pm}}\right) + \frac{1}{j_{sup}}\right] 4\ sEd} \tag{4.3.289}$$

în care $K = 4{,}4$ cînd $F_y = 0{,}5\ F_z$, iar pentru $F_y = F_z$, $K = 3{,}5$.

3. Cazul al treilea este cel în care piesa este fixată cu un capăt în universal, iar celălalt este liber.

Se calculează mai întîi componenta F_z a forței de așchiere, plecînd de la deformația maximă admisibilă a piesei y_{adm}, pentru care se utilizează relația din condiția:

$$y_{din} \leqslant y_{adm}. \tag{4.3.290}$$

Săgeata dinamică y_{din} se determină din produsul deformației statice și a coeficientului dinamic, adică $y_{din} = y_{st}\mu$.

Dacă în relația precedentă se introduce deformația dinamică, determinată cum s-a arătat mai sus, deformația statică fiind egală cu

$$y_{st} = \frac{F_{ryz} l^3}{3\ EI}, \tag{4.3.290'}$$

se obține:

$$\frac{F_{ryz} l^3 \mu}{3EI} \leqslant y_{adm}. \tag{4.3.291}$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru cuțite ascuțite reamintim că $F_y = 0{,}5\ F_z$, iar $F_{ryz} = \sqrt{1{,}25} F_z$. Componenta maxim admisibilă este:

$$F_z = \frac{3\,EIy_{adm}}{\sqrt{1{,}25}l^3\mu} = \frac{0{,}13\,Edy_{adm}}{c^3\mu}. \tag{4.3.292}$$

Pentru cuțite care s-au uzat $F_y = F_z$, iar componenta maxim admisibilă este:

$$F_z = \frac{3\,EIy_{adm}}{\sqrt{2}l^3\mu} = \frac{0{,}1\,Edy_{adm}}{c^3\mu}. \tag{4.3.293}$$

La determinarea relațiilor (4.3.291) și (4.3.292) s-a considerat rigiditatea mașinii absolută. Pentru calcule mult mai apropiate de realitate la determinarea forței admisibile de așchiere trebuie să se țină seama de rigiditatea sistemului tehnologic *MUPS*.

Deformația admisibilă a sistemului tehnologic care asigură obținerea preciziei de prelucrare este:

$$y_{adm} = y_{maș} + y_{piesă}. \tag{4.3.294}$$

Valoarea deformației piesei ($y_{piesă}$) se calculează cu relația (4.3.290'), iar deformația mașinii este:

$$y_{maș} = \frac{F_{ryz}}{j_{pf}} + \frac{F_{ryz}}{j_{sup}}. \tag{4.3.295}$$

Introducînd relațiile (4.3.290') și (4.3.295) în (4.3.294) se obține deformația maximă admisibilă care asigură obținerea preciziei impusă piesei și anume:

$$y_{adm} = F_{ryz}\left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{sup}}\right) + \frac{F_{ryz}l^3\mu}{3\,EI}. \tag{4.3.296}$$

Prelucrarea trebuie să se facă cu un astfel de regim de așchiere care să nu dezvolte o forță de așchiere (respectiv F_z) mai mare decît

$$F_z = \frac{0{,}13\,Edy_{adm}}{c^3\mu + 0{,}14\,Ed\left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{sup}}\right)}, \tag{4.3.297}$$

pentru lucrul cu cuțite ascuțite, iar pentru lucrul cu cuțite uzate

$$F_z = \frac{0{,}1\,Edy_{adm}}{c^3\mu + 0{,}14\,Ed\left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{sup}}\right)}. \tag{4.3.298}$$

Reamintim, că y_{adm} este mărimea cu care poate crește sau descrește raza piesei.

Scanned with OKEN Scanner

Din aceste ultime două relații, făcînd pe $F_z = C_{F_z} t^{x_{F_z}} s^{y_{F_z}}$ se poate determina mărimea avansului de lucru și a adîncimii de așchiere. Se obține astfel pentru cuțite ascuțite:

$$s = \sqrt[x_{F_z}]{\frac{0{,}13\, Edy_{adm}}{C_{F_z} t^{x_{F_z}} \left[c^3 \mu + 0{,}14\, Ed \left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{sup}} \right) \right]}}; \tag{4.3.299}$$

$$t = \sqrt[x_{F_z}]{\frac{0{,}13\, Edy_{adm}}{C_{F_z} s^{y_{F_z}} \left[c^3 \mu + 0{,}14\, Ed \left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{sup}} \right) \right]}}. \tag{4.3.300}$$

Pentru cazul în care prelucrarea se face cu cuțite uzate regimul de așchiere trebuie să fie:

$$s = \sqrt[y_{F_z}]{\frac{0{,}1\, Edy_{adm}}{C_{F_z} t^{x_{F_z}} \left[c^3 \mu + 0{,}14\, Ed \left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{sup}} \right) \right]}}; \tag{4.3.301}$$

$$t = \sqrt[x_{F_z}]{\frac{0{,}1\, Edy_{adm}}{C_{F_z} s^{y_{F_z}} \left[c^3 \mu + 0{,}14\, Ed \left(\frac{1}{j_{pf}} + \frac{1}{j_{sup}} \right) \right]}}. \tag{4.3.302}$$

Viteza de așchiere, după cum se știe, nu influențează asupra forței de așchiere, care are influența preponderentă asupra preciziei de prelucrare.

În figura 4.3.68 este reprezentată dependența componentei maxime admisibile a forței de așchiere F_z în funcție de raportul dintre lungimea în consolă a piesei și diametrul ei. Prelucrarea în toate cazurile s-a făcut în aceleași condiții de lucru. Atît din calculele făcute cît și din diagrama ridi-

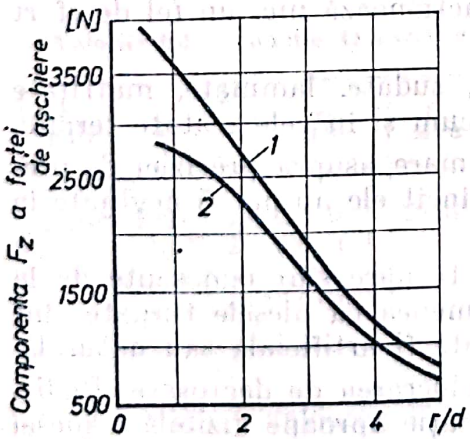


Fig. 4.3.68. Dependența componentei F_z a forței de așchiere în funcție de raportul l/d, la strunjirea în consolă:
1 — pentru cuțite ascuțite ($F_y = 0{,}5\, F_z$); 2 — pentru cuțite uzate ($F_y = F_z$); (t = 1 mm); d = 50 mm; y = 0,1 mm).

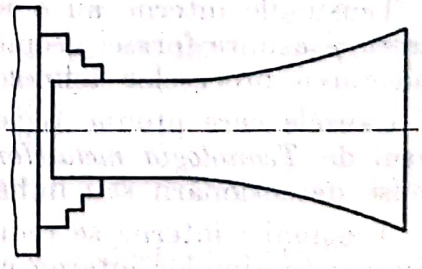


Fig. 4.3.69. Forma geometrică a piesei cu rigiditate scăzută după strunjirea ei în consolă.

cată experimental rezultă că la prelucrarea arborilor din bară raportul l/d poate să ajungă pînă la 5, iar la prelucrarea pieselor cu diametrul mai mare, raportul respectiv trebuie să fie micşorat.

În cazul în care nu se lucrează cu regimul de aşchiere indicat sau cînd rigiditatea piesei este mică forma geometrică a piesei este ca a unui hiperboloid de revoluţie, după cum este reprezentat exagerat în figura 4.3.69. Forma respectivă apare datorită faptului că la intrarea în aşchie forţa de aşchiere, acţionînd la capătul liber al arborelui, săgeata lui este mare, iar adîncimea de aşchiere mică, adîncime care creşte pe măsură ce cuţitul se apropie de universal deoarece săgeata în acest timp scade continuu.

Limitele de variaţie ale dimensiunilor pieselor ce se prelucrează, din cauza variaţiei forţei de aşchiere şi a deformaţiei elastice a sistemului tehnologic *MDPS*, se determină ca fiind diferenţa între deformaţiile maxime şi minime, adică:

$$\Delta y = y_{max\ sist} - y_{min\ sist} \tag{4.3.303}$$

Deformaţiile maximă şi minimă la rîndul lor sînt funcţii de variaţia forţei de aşchiere şi a cedării şi anume:

$$\begin{aligned} y_{max\ sist} &= Fr_{yz\ max} W_{max\ sist}; \\ y_{min\ sist} &= Fr_{yz\ min} W_{min\ sist} \end{aligned} \tag{4.3.304}$$

Deci:

$$\Delta y = Fr_{yz\ max} W_{max\ sist} - Fr_{yz\ min} W_{min\ sist} \tag{4.3.305}$$

Dacă toleranţa la diametru a suprafeţelor care se prelucrează este δ, atunci cîmpul de variaţie al dimensiunilor pieselor din lotul de piese care se prelucrează pe maşini reglate la dimensiune ω egal cu $2\Delta y$ va trebui să fie:

$$\omega = 2\,\Delta y \leqslant \delta. \tag{4.3.306}$$

● *Tensiunile interne care apar în timpul prelucrării prin aşchiere* (după [34]). Tensiunile interne pot influenţa foarte mult atît asupra preciziei de prelucrare cît şi asupra formei geometrice a pieselor ce se prelucrează.

Tensiunile interne, se numesc acele eforturi unitare care se exercită în materialul piesei, chiar cînd asupra piesei nu acţionează nici un fel de efort din exterior.

Tensiuni interne apar în piesele turnate, sudate, laminate, matriţate la cald şi la rece, prelucrate prin aşchiere precum şi în cele tratate termic.

Tensiunile interne au o influenţă atît de mare asupra preciziei de prelucrare şi asupra formei geometrice a pieselor, încît ele nu pot fi neglijate la proiectarea proceselor tehnologice.

Cauzele care produc tensiunile interne la turnare sînt cunoscute de la cursul de *Tehnologia metalelor*. Se ştie de asemenea că piesele turnate sînt supuse detensionării sau îmbătrînirii, care poate fi artificială sau naturală.

Tensiunile interne se redistribuie după prelucrarea de degroşare. Redistribuirea tensiunilor interne provoacă o deformaţie aproape vizibilă a piesei turnate. Redistribuirea tensiunilor interne se face după fiecare prelucrare, provocînd astfel deformaţia piesei, însă cea mai mare deformaţie are loc, după cum s-a spus, după prelucrarea de degroşare.

La confecţionarea unei piese precise problema cea mai importantă este problema eliminării tensiunilor interne. De aceea, detensionarea naturală

Scanned with OKEN Scanner

sau artificială a pieselor înainte de prelucrarea mecanică prin așchiere și între operații face parte integrantă din procesul tehnologic.

Tensiunile interne din piesele sudate au o influență tot atît de mare asupra preciziei de prelucrare ca și tensiunile interne din piesele turnate. Eliminarea tensiunilor interne din piesele sudate se face în primul rînd printr-o succesiune rațională a sudării diferitelor părți componente ale piesei sudate, precum și prin tratamentul termic la care se supune piesa sudată.

Într-un semifabricat lipsit complet de tensiuni interne, acestea se formează în mod inevitabil în urma îndreptării lui la rece. Îndreptarea corectă în stare caldă poate să nu producă tensiuni interne.

Tensiuni interne, după cum s-a spus mai sus, pot apărea și în urma prelucrării prin așchiere, din cauza ecruisării suprafeței prelucrate mai ales în urma prelucrării de degroșare. Aceste tensiuni interne se redistribuie în timpul desfășurării procesului tehnologic pe măsură ce prelucrarea se apropie de sfîrșit. Pentru eliminarea cît mai completă a tensiunilor interne se impune ca prelucrările de finisare să se facă cu adîncimi mici de așchiere. La prelucrarea prin rectificare ultimele treceri trebuie să se facă în „gol".

Tensiuni interne pot să apară în timpul procesului de așchiere și atunci cînd este impiedicată alungirea termică liniară a piesei care se prelucrează. Astfel, dacă la prelucrarea pieselor lungi cu diametrul mai mic de cîteva ori decît lungimea este împiedicată alungirea termică liniară de către elementele de fixare și reazem, în interiorul piesei apar tensiuni interne de compresiune σ_t, care se pot determina după următoarele relații:

$$\sigma_t = E\alpha(t - t_0), \tag{4.3.307}$$

unde: E este modulul de elasticitate; α — coeficientul de alungire liniară; t și t_0 — temperatura finală și inițială.

În tabelul 4.3.8 sînt date valori ale σ_t funcție de variația temperaturii unor arbori confecționați din oțel carbon. Datele din tabel arată că o dată cu ridicarea temperaturii piesei care se prelucrează pînă la 150°C (temperatură care se întîlnește des în practică) tensiunile interne ating valori foarte mari (pînă la 3,75 MPa).

Tabelul 4.3.8

Valorile lui τ_t funcție de variația temperaturii unor arbori confecționați din oțel carbon

E, MPa	α	$t - t_0$, °C	τ_t, MPa	E, MPa	α	$t - t_0$, °C	τ_t, MPa	E, MPa	α	$t - t_0$, °C	τ_t, MPa
$2 \cdot 10^5$	$122 \cdot 10^{-7}$	10	$2{,}5 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^5$	$122 \cdot 10^{-7}$	50	$12{,}5 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^5$	$122 \cdot 10^{-7}$	90	$22{,}5 \cdot 10^{-1}$
		20	$5{,}0 \cdot 10^{-1}$			60	$15{,}0 \cdot 10^{-1}$			100	$25{,}0 \cdot 10^{-1}$
		30	$9{,}5 \cdot 10^{-1}$			70	$17{,}5 \cdot 10^{-1}$			150	$37{,}5 \cdot 10^{-1}$
		40	$10{,}0 \cdot 10^{-1}$			80	$20{,}0 \cdot 10^{-1}$				

Cunoscînd valoarea tensiunilor interne σ_t și suprafața secțiunii transversale a piesei S, se poate determina reacțiunea din reazem, respectiv forța de compresiune R_t:

$$R_t = \sigma_t S = \sigma_t \frac{\pi d^2}{4}. \tag{4.3.308}$$

Atunci cînd forța de compresiune este mare, piesa poate să se încovoaie, lucru care are loc cu atît mai ușor, cu cît raportul dintre lungime și diametrul piesei este mai mare.

Se știe însă că mașinile-unelte nu au o rigiditate absolută și permit compresiuni elastice axiale atît ale arborelui principal, cît și ale pinolei păpușii mobile. Din această cauză, atunci cînd piesa care se prelucrează, se încălzește și poate să se alungească termic liber, în interiorul ei $\sigma_t = 0$. Dacă însă alungirea liniară a piesei este împiedicată într-o măsură oarecare, atunci σ_t se poate calcula în modul prezentat în continuare.

Fie: Δl_t — alungirea termică liberă a piesei; Δl_i — alungirea termică a piesei împiedicată să se alungească liber; W — cedarea reazemelor $\left(W = \frac{R_t}{j}\right)$; j — rigiditatea reazemelor; R_t — forța preluată de reazeme ca urmare a alungirii termice a piesei. Atunci

$$\Delta l_i = \Delta l_t - \frac{R_t}{j} = l\alpha(t - t_0) - \frac{R_t}{j} = \frac{R_t l}{SE} \qquad (4.3.309)$$

Cunoscînd că $\sigma_t = \frac{R_t}{S}$ și înmulțind atît numărătorul cît și numitorul celui de-al doilea termen al membrului drept al relației (4.3.309) cu S se obține relația cu ajutorul căreia se calculează tensiunile interne de compresiune în cazul examinat:

$$\sigma_t = \frac{l\alpha(t - t_0)}{\frac{l}{E} + \frac{S}{j}}.$$

În figura 4.3.70 este prezentată diagrama dependenței tensiunii funcție de rigiditatea reazemelor mașinii-unelte (rigiditatea pinolei și a arborelui principal) pentru diferite temperaturi ale piesei care se prelucrează.

Se vede din diagrama prezentată, că tensiunile interne în piesă sînt cu atît mai mari, și deci, influența lor asupra preciziei de prelucrare cu atît mai mare, cu cît rigiditatea reazemelor este mai mare.

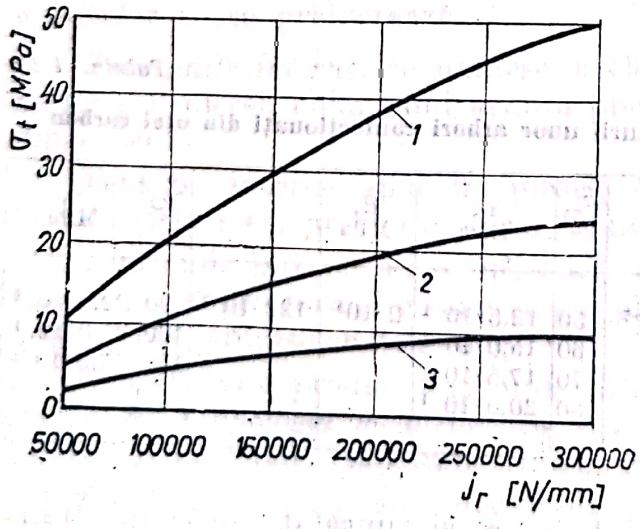


Fig. 4.3.70. Dependența tensiunii interne de rigiditatea reazemelor mașinii-unelte într-un arbore cu $d = 64$ mm și $l = 500$ mm la temperatura de:
curba 1, $(t - t_0) = 100°C$; curba 2, $(t - t_0) = 50°C$; curba 3, $(t - t_0) = 20°C$.

Un mijloc foarte eficace pentru reducerea sau înlăturarea completă a tensiunilor interne care duc la deformarea piesei este acela de a micșora rigiditatea reazemelor, mai precis a pinolei păpușii mobile. Acest lucru se poate realiza prin utilizarea vîrfurilor de strung elastice.

Altfel, dacă în timpul desfășurării procesului tehnologic nu se reușește a se elimina în întregime tensiunile interne, acestea se redistribuie într-un interval oarecare de timp și deformează piesa, fie în timp ce piesa stă în depozit fie în timpul exploatării, chiar în lipsa unor influențe exterioare.

Scanned with OKEN Scanner

Influența tensiunilor remanente ale piesei de prelucrat [7]. Un factor deosebit de important, care are o influență însemnată asupra preciziei de prelucrare, în special la operațiile de degroșare și care nu trebuie neglijat la proiectarea proceselor tehnologice îl constituie deformațiile piesei din cauza tensiunilor remanente provocate de cantitatea de căldură absorbită de piesă în timpul așchierii.

Pentru a determina expresia analitică a erorii de prelucrare datorită tensiunilor remanente, este cunoscut, că acestea apar în piesa care se prelucrează din cauza încălzirii acesteia în timpul prelucrării.

Astfel, dacă la prelucrarea pieselor lungi, cu diametrul mai mic de cîteva ori decît lungimea, este împiedicată alungirea termică liniară de către elementele de fixare și reazem, în interiorul piesei, apar tensiuni interne de compresiune σ_t, care se pot determina după următoarea relație:

$$\sigma_t = E \cdot \alpha \cdot (t - t_0), \tag{4.3.310}$$

unde: E este modulul de elasticitate; α — coeficientul de alungire liniară; t și t_0 — temperaturile finală și inițială.

Cunoscînd valoarea tensiunilor interne σ_t și suprafața secțiunii transversale a piesei S, se poate determina reacțiunea din reazeme, respectiv forța de compresiune R_t:

$$R_t = \sigma_t \cdot S = \sigma_t \frac{\pi d^2}{4}. \tag{4.3.311}$$

Atunci cînd forța de compresiune este mare piesa poate să se înconvoaie, lucru care are loc cu atît mai ușor, cu cît raportul dintre lungime și diametrul piesei este mai mare.

Se știe însă, că mașinile-unelte nu au o rigiditate absolută și permit compresiuni elastice axiale atît ale axului principal, cît și ale pinolei păpușii mobile.

Din această cauză, atunci cînd piesa se încălzește și poate liber să se alungească termic, în interiorul ei $\sigma_t = 0$. Dacă însă alungirea liniară a piesei este împiedicată într-o măsură oarecare, atunci σ_t are o valoare care se poate calcula.

Notînd cu: Δl_i — alungirea termică liberă a piesei; Δl_t — alungirea termică a piesei, împiedicată să se alungească liber; W — cedarea reazemelor $W = \frac{R_t}{j}$; j — rigiditatea reazemelor; R_t — forța preluată de reazeme ca urmare a alungirii termice a piesei, atunci alungirea va fi:

$$\Delta l_t = \Delta l_i - \frac{R_t}{j} = l \cdot \alpha (t - t_0) - \frac{R_t}{j} \tag{4.3.312}$$

Cunoscînd că $\sigma_t = \frac{R_t}{S}$ și înmulțind cu S atît numărătorul cît și numitorul celui de-al doilea termen al membrului drept al relației (4.3.312), se obține relația cu ajutorul căreia se calculează tensiunile interne de compresiune în cazul examinat:

$$\sigma_t = \frac{l \cdot \alpha (t - t_0)}{\frac{l}{E} + \frac{S}{j}}. \tag{4.3.313}$$

Pentru a determina expresia analitică a erorii de prelucrare datorită tensiunilor remanente funcție de parametrii regimului de așchiere se pornește de la relația de calcul (4.3.313) a eforturilor unitare σ_t, scrisă sub următoarea formă

$$\sigma_t = \frac{l \cdot \alpha E j}{lj + ES}(t - t_0). \tag{4.3.314}$$

Dacă se au în vedere relațiile (4.3.219), (4.3.223), (4.3.224), (4.3.227) și relația de calcul a suprafeței piesei cilindrice $\left(S = \frac{\pi d^2}{4}\right)$, relația (4.3.314) devine după înlocuiri și transformări ulterioare:

$$\sigma_t = \frac{4l\alpha E j}{4lj + \pi d^2 E}\left(\frac{c_1 C_{F_z} \cdot HB^{n_1} t^{x_{F_z}} s^{y_{F_z}}}{10{,}675 \cdot 10^4 c_p \rho_p d} - t_0\right). \tag{4.3.315}$$

Săgeata de încovoiere a piesei cilindrice datorită eforturilor unitare σ_t se calculează cu relația:

$$f = \frac{dl^2 h^*}{8EW_z} \cdot \sigma_t, \tag{4.3.316}$$

în care h^* este adîncimea stratului ecruisat, în mm.

Ținînd cont că:

$$W_z = \pi d^3/32, \tag{4.3.317}$$

prin înlocuirea relațiilor (4.3.315) și (4.3.317) în relația (4.3.316) se obține:

$$f = \frac{16\, l^3 h^* \alpha \cdot j}{\pi^* d^2 (4lj + \pi d^2 E)}\left(\frac{c_1 C_{F_z} \mathrm{HB}^{n_1} t^{x_{F_z}} s^{y_{F_z}}}{10{,}675 \cdot 10^4\, c_p \rho_p d} - t_0\right), \tag{4.3.318}$$

care este expresia finală a erorii de prelucrare ca urmare a tensiunilor remanente din timpul procesului de așchiere.

Aplicație numerică. În condițiile prelucrării prin strunjire cu un cuțit armat cu plăcuță P20 fixată mecanic a unei piese din OLC 45 cu dimensiunile: $d = 70$ mm; $l = 400$ mm, pe un strung cu rigiditatea medie a reazemului $j = 37 \cdot 300$ N/mm (determinată experimental), ceilalți parametri din relația (4.3.319) avînd următoarele valori: $\alpha = 0{,}000012°C^{-1}$; $h^* = 0{,}35$ mm (determinat experimental); $E = 2{,}1 \cdot 10^7$ N/mm; $c_1 = 0{,}08$; $C_{F_z} = 27{,}9$; HB = 200; $n_1 = 0{,}75$; $x_{F_z} = 1$; $y_{F_z} = 0{,}75$; $c_p = 0{,}11$ cal/kg°C $\rho_p = 7{,}6$ kg/dm³; $t_0 = 20°C$, după înlocuirea în relația (4.3.318) rezultă:

$$f = \frac{16 \cdot 400^3 \cdot 0{,}35 \cdot 0{,}000012 \cdot 37 \cdot 300}{\pi \cdot 70^2 (4 \cdot 400 \cdot 37 \cdot 300 + \pi \cdot 70^2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^7} \times$$

$$\times \left(\frac{0{,}08 \cdot 27{,}9 \cdot 200^{0.75} \cdot 1^1 \cdot 0{,}2^{-0.25}}{10{,}675 \cdot 10^4 \cdot 0{,}11 \cdot 7{,}6 \cdot 70} - 20\right) = 2{,}76 \cdot 10^{-8} \text{ mm}.$$

● Vibrațiile care apar în timpul prelucrării prin așchiere [11]. Precizia suprafețelor care se așchiază este determinată de menținerea poziției relative dintre tăișul sculei și piesă. Două categorii de factori tind să modifice această poziție: *a*) statici; *b*) dinamici.

Scanned with OKEN Scanner

În cele ce vor urma se vor analiza cîteva aspecte ale factorilor care determină o modificare dinamică a poziției relative dintre sculă și piesă. În acest scop, în figura 4.3.71 se consideră sistemul tehnologic elastic *MUPS*.

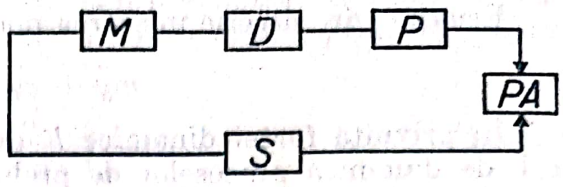


Fig. 4.3.71. Sistemul tehnologic elastic *MUPS*.

După cum se observă, legătura dintre piesa de prelucrat P și scula S se realizează prin intermediul procesului de așchiere PA.

Factorii de natură dinamică pot fi legați de fiecare din blocurile schemei din figura 4.3.71. De exemplu: roțile dințate, rulmenții sau arborii neechilibrați ai lanțului cinematic principal pot constitui cauze ale factorilor dinamici legați de mașina-unealtă (M).

Forma constructivă a sculei (freze, broșe etc.), neechilibrarea dispozitivului sau a piesei constituie cauze ale apariției fenomenelor dinamice în blocurile S, D sau P.

Pe lîngă asemenea cauze interne legate de construcția și exploatarea sistemului *MUPS*, fenomenele dinamice pot fi datorate și unor cauze externe. Șocurile și vibrațiile primite de la sursele perturbatoare din ateliere (mașini-unelte etc.), constituie exemplificări suficient de elocvente în acest sens.

Toate categoriile de fenomene dinamice de genul celor de mai sus provoacă vibrația forțată a sculei și a piesei. Pentru diminuarea amplitudinii acestor vibrații forțate se întreprind o serie de măsuri, în special constructive, care au ca principal obiectiv eliminarea sau diminuarea sub anumite limite a cauzelor care favorizează apariția unor forțe sau momente cu caracter periodic în sistemul *MUPS*. În acest sens se acționează asupra curelelor de antrenare a arborelui principal, asupra preciziei roților dințate din cutiile de viteze etc.

Trebuie menționat că pentru eliminarea sau diminuarea forțelor sau momentelor perturbatoare pot fi luate măsuri eficiente și din punct de vedere tehnologic. Cuplarea rațională a frezelor în seturi sau alegerea unghiului de înclinare al frezelor, dinți înclinați în funcție de lățimea suprafeței de frezat sînt cazuri frecvent întîlnite în practică și cu care se ocupă cursul de *Proiectarea și tehnologia sculelor așchietoare*.

Cu toată importanța pe care o au vibrațiile forțate astăzi, în condițiile creșterii cerințelor de precizie și a intensificării continue a regimului de așchiere, în procesele de prelucrare pe mașinile-unelte atenția cea mai mare se acordă autovibrațiilor.

Se numesc *autovibrații* acele vibrații ale piesei sau sculei care sînt determinate și întreținute de comportarea sistemului PA din figura 4.3.71.

Pentru a fi folosit studiul cantitativ al autovibrațiilor, sistemele elastice se înlocuiesc cu modele dinamice echivalente de tipul celui din figura 4.3.72 în care s-a notat: m — masa echivalentă a sistemului; c — constanta de amortizare echivalentă; k — constanta elastică echivalentă; F — forța care acționează asupra masei m; y — direcția pe care se studiază vibrațiile.

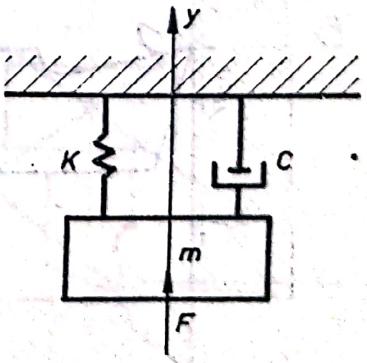


Fig. 4.3.72. Model dinamic echivalent pentru studiul autovibrațiilor.

Ecuația care descrie mișcarea masei echivalente pe direcția y are forma:

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F. \tag{4.3.319}$$

În privința forței dinamice F există mai multe păreri aparținînd unor școli de dinamica proceselor de prelucrare pe mașinile-unelte. Astfel:

a) școala engleză (*S.A. Tobias*) consideră că vibrațiile pe direcția forței de așchiere au trei cauze:

1 — variația forței de frecare dintre sculă și piesă;
2 — variația forței de așchiere cu viteza de așchiere;
3 — variația forței de așchiere cu unghiurile active ale tăișurilor sculei.

Pentru a analiza cazul 1 se consideră figura 4.3.73.

Ecuația diferențială care descrie mișcarea sculei pe direcția axei z este:

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = F, \tag{4.3.320}$$

unde v este viteza de așchiere (vezi fig. 4.3.73).

După cum este cunoscut de la cursul de *Bazele așchierii metalelor*, coeficientul de frecare μ variază cu viteza de așchiere după o curbă de genul celei din figura (4.3.74).

Dacă cuțitul nu ar vibra, din figura 4.3.74 rezultă că vitezei de așchiere v_0 îi corespunde coeficientul de frecare $\mu(v_0)$. În momentul în care viteza variază cu $\Delta v = z$, coeficientul de frecare se modifică. Pentru a obține această valoare modificată a coeficientului de frecare se dezvoltă funcția $\mu(v)$ în serie *Taylor:*

$$\mu(v) = \mu(v_0) + \mu\ddot{z} + \ldots \tag{4.3.321}$$

În acest caz forța de frecare corespunzătoare este:

$$F_f = -[\mu(v_0) + \mu\ddot{z}]F_y, \tag{4.3.322}$$

de unde rezultă forța care întreține vibrația,

$$F = F_f + \mu(v_0)F_y = -\mu\ddot{z}F_y. \tag{4.3.323}$$

Ținînd seama de (4.3.323) ecuația (4.3.320) devine:

$$m\ddot{z} + (c + \mu F_y)\dot{z} + kz = 0. \tag{4.3.324}$$

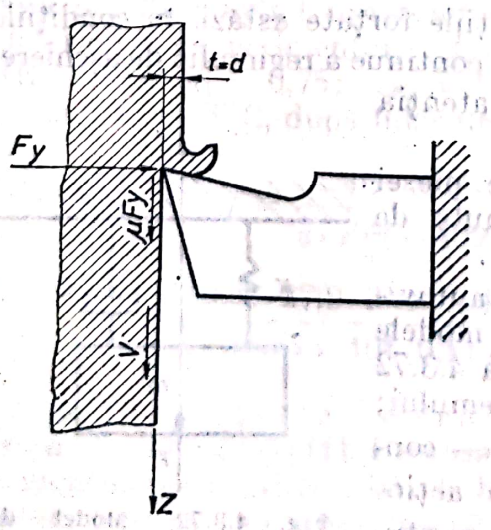


Fig. 4.3.73. Reprezentarea schematică a fenomenului de îndepărtare de așchii.

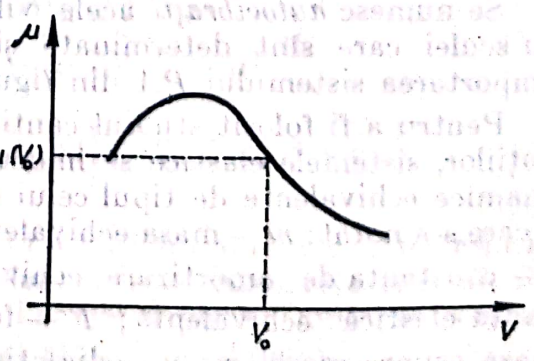


Fig. 4.3.74. Dependența coeficientului de frecare de viteza de așchiere.

2 — Dacă se consideră că forța de așchiere principală variază cu viteza de așchiere după o curbă ca cea din figura 4.3.75 atunci prin dezvoltarea în serie *Taylor* a funcției $F_z(v)$ rezultă:

$$F_z(v) = F_z(v_0) + \left(\frac{dF_z}{dv}\right)_{v0} \dot{z} + \ldots \cdot \tag{4.3.325}$$

Notînd $k_v = \left(\frac{dF_z}{dv}\right)_{v0}$, ecuația care descrie vibrația sculei pe axa z este:

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = -k_v\dot{z} \tag{4.3.326}$$

sau

$$m\ddot{z} + (c + k_v)\dot{z} + kz = 0.$$

În mod analog se poate stabili o ecuație de forma 4.3.326 și pentru cazul în care cauza variației forței de așchiere o constituie modificarea unghiului de degajare și a celui de așezare al sculei.

b) școala cehoslovacă (*Polacek* și *Tlusty*)

În conformitate cu teoria acestei școli apariția autovibrațiilor este explicată pe un model dinamic echivalent cu două grade de libertate (fig. 4.3.76). Se consideră că atunci cînd procesul vibrator este pe cale de a se amorsa (limita de stabilitate) forța care acționează asupra masei m are expresia

$$F = -ry, \tag{4.3.327}$$

unde y este variația adîncimii de așchiere, iar r un coeficient care ține seama de condițiile de prelucrare (materialul sculei și cel de prelucrat, geometria tăișurilor sculei etc.).

Ecuațiile care descriu mișcarea masei m sînt:

$$m\ddot{x}_1 + k_1\dot{x}_1 = F\cos(\beta - \alpha_1); \tag{4.3.328}$$
$$m\ddot{x}_2 + k_2\dot{x}_2 = F\cos(\beta - \alpha_2).$$

Ținînd seama de figura 4.3.76 rezultă:

$$y = x_1\cos\alpha_1 + x_2\cos\alpha_2. \tag{4.3.329}$$

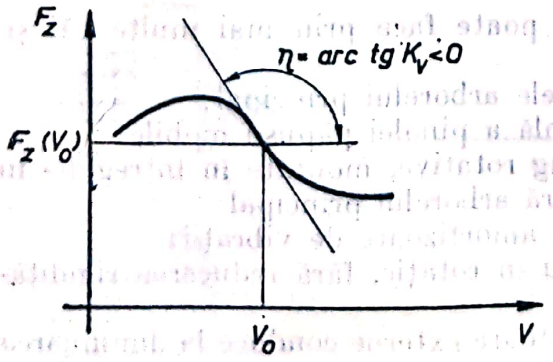


Fig. 4.3.75. Dependența componentei F_z a forței de așchiere de viteza de așchiere.

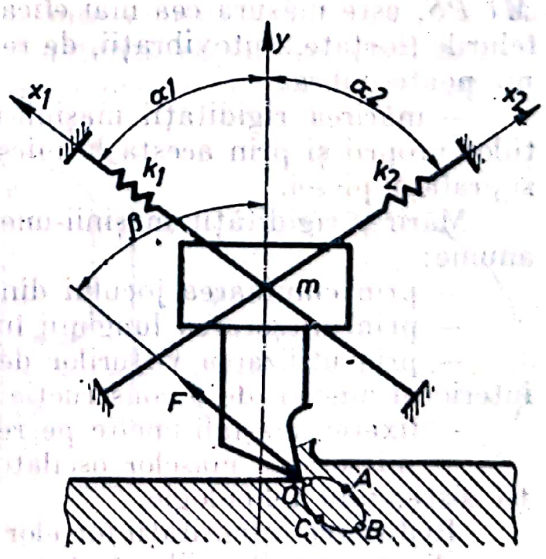


Fig. 4.3.76. Model dinamic echivalent cu două grade de libertate.

În acest caz relația (4.3.327) devine:

$$F = -r(x_1 \cos \alpha_1 + x_2 \cos \alpha_2), \tag{4.3.330}$$

iar ecuațiile (4.3.328) se scriu:

$$\begin{aligned} m\ddot{x}_1 + [k_1 + r \cos \alpha_1 \cos (\alpha_1 - \beta)]\, \dot{x}_1 + rx_2 \cos \alpha_2 \cos (\alpha_1 - \beta) = 0; \\ m\ddot{x}_2 + [k_2 + r \cos \alpha_2 \cos (\alpha_2 - \beta)]\, \dot{x}_2 + rx_1 \cos \alpha_1 \cos (\alpha_2 - \beta) = 0. \end{aligned} \tag{4.3.331}$$

Pentru explicarea fenomenului autovibrator în cazul schemei din figura 4.3.76 s-a plecat de la constatarea că în cazul unui fenomen vibrator stabilizat vîrful sculei descrie o traiectorie $OABC$ aproximativ eliptică. La pătrunderea sculei în metal, pe porțiunea OAB, deplasarea vîrfului se produce în sens contrar celui al forței de așchiere. Ca urmare în acest timp se consumă lucrul mecanic $L_1 (L_1 < 0)$. La ieșirea sculei din metal, pe traiectoria BCO, sensul deplasării coincide cu cel al forței F. Datorită acestui fapt se cedează un lucru mecanic $L_2 (L_2 > 0)$.

În consecință, în timpul unui ciclu apare o variație a lucrului mecanic:

$$\Delta L = L_2 + L_1. \tag{4.3.332}$$

Întrucît grosimea așchiei la retragerea sculei este mai mare decît la înfigerea acesteia,

$$|L_2| > |L_1|, \tag{4.3.333}$$

rezultă

$$\Delta L > 0.$$

În concluzie, fenomenul autovibrator este întreținut de lucrul mecanic ΔL, adică tocmai de energia produsă prin vibrația sistemului sculei.

Măsurile care elimină sau micșorează intensitatea vibrațiilor. Apariția vibrațiilor în timpul prelucrării prin așchiere a metalelor poate fi evitată, dacă se iau măsurile corespunzătoare asupra: *1* — utilajului pe care se face prelucrarea; *2* — sculei cu care se face prelucrarea; *3* — regimului de așchiere și *4* — asupra piesei care se prelucrează.

1. **Măsurile care trebuie să fie luate asupra utilajului** pentru evitarea apariției vibrațiilor pot fi rezumate la următoarele:

— mărirea rigidității mașinii-unelte și în general a sistemului tehnologic *MUPS*, este măsura cea mai eficace, care evită apariția vibrațiilor de toate felurile (forțate, autovibrații, de relaxare). Un sistem tehnologic absolut rigid nu poate vibra;

— mărirea rigidității mașinii-unelte duce la ridicarea frecvenței vibrațiilor proprii și prin aceasta la micșorarea amplitudinii undei vibratorii de pe suprafața piesei.

Mărirea rigidității mașinii-unelte se poate face prin mai multe căi și anume:

— prin eliminarea jocului din lagărele arborelui principal;

— prin micșorarea lungimii în consolă a pinolei păpușii mobile;

— prin utilizarea vîrfurilor de strung rotative, montate în întregime în interiorul pinolei, de o construcție similară arborelui principal;

— fixarea mașinii-unelte pe reazeme amortizoare de vibrații;

— micșorarea maselor oscilatorii sau în rotație, fără reducerea rigidității sistemului tehnologic.

Reducerea intensității forțelor excitatoare externe conduce la diminuarea sau eliminarea vibrațiilor forțate. Acest lucru se realizează prin: micșorarea forțelor centrifuge a diverselor organe în mișcare de rotație; alegerea unor

Scanned with OKEN Scanner

astfel de turații ale piesei sau sculei care să facă ca frecvența forței excitatoare să fie departe de frecvența vibrațiilor proprii ale elementelor sistemului tehnologic; reglarea, dacă este posibil, a frecvenței proprii a acestor elemente; izolarea mașinii-unelte de vibrațiile mașinilor vecine.

2. **În ceea ce privește scula așchietoare** se recomandă următoarele măsuri:

— unghiuri cît mai mari de atac (pînă la 75 ... 90°);

— unghiuri de degajare pozitive prevăzute în unele cazuri cu fațete mici negative pentru mărirea rezistenței muchiei așchietoare (lățimea fațetei: 0,1 ... 0,3 mm);

— unghiuri de așchiere cît mai mici posibil, însă cu astfel de valori, care să evite frecările puternice dintre fața de așezare a sculei și suprafața piesei (la prelucrarea cu avansuri mici, unghiul de așezare trebuie mărit);

— raza de la vîrful muchiei așchietoare să fie cît mai mică posibil;

— lungimea mică în consolă a sculei;

— la strunjirea suprafețelor exterioare vîrful cuțitului să fie așezat la înălțimea axei de rotație a piesei care se prelucrează sau puțin mai sus decît aceasta (cu 0,1 ... 0,3 mm cînd diametrul piesei este mai mare de 80 mm);

— să nu se lucreze cu scule uzate (muchia așchietoare puțin uzată joacă un rol similar fațetelor mici negative);

— utilizarea cuțitelor cu muchia așchietoare dispusă pe axa neutră a corpului cuțitului. Prezentarea mai detaliată a acestor cuțite se face în paragraful următor, dată fiind eficacitatea lor mare în evitarea apariției vibrațiilor, mai ales la strunjirea suprafețelor interioare;

— la prelucrarea prin rabotare utilizarea cuțitelor îndoite înapoi la porțiunea din consolă (fig. 4.3.77), de asemenea duce la evitarea apariției vibrațiilor (explicația fenomenului de evitare a apariției vibrațiilor la prelucrarea cu acest cuțit este similară celei prezentată în paragraful amintit mai sus);

— utilizarea cuțitelor arcuite, denumite și „gît de lebădă" (fig. 4.3.78). Aceste cuțite evită în mare parte apariția vibrațiilor la prelucrarea cu așchii late și subțiri, prin strunjirea razelor mari de racordare, la filetare și uneori la prelucrarea prin rabotare. La prelucrarea cu astfel de cuțite nu se transmite pe suprafața piesei care se prelucrează întreaga mărime a amplitudinii vibrațiilor, ci numai o parte egală cu $A\frac{K}{K+r}$ (pentru semnificația termenilor, vezi paragraf 4.3.6.1.1), datorită slăbirii legăturii dintre suportul portcuțit și piesa care se prelucrează. Forma părții arcuite a cuțitului este astfel executată încît cuțitul se deformează în special datorită acțiunii componentei F_t a forței de așchiere. Rigiditatea recomandată pentru aceste cuțite este de

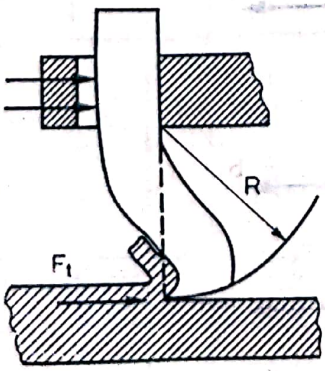


Fig. 4.3.77. Rabotarea cu cuțit „îndoit înapoi".

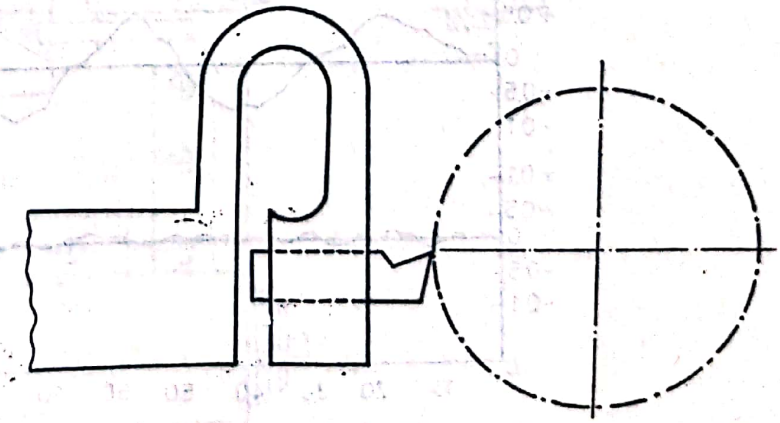


Fig. 4.3.78. Cuțit „gît de lebădă".

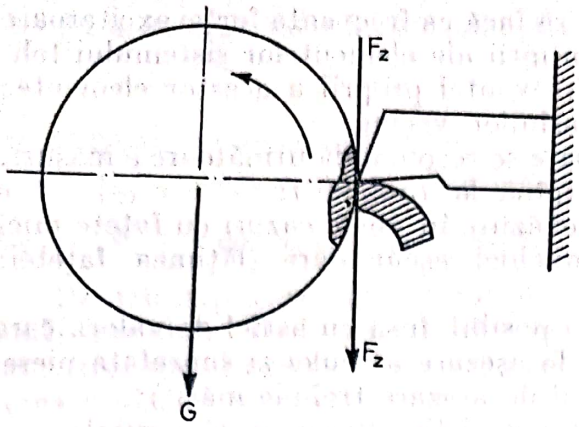


Fig. 4.3.79. Strunjire cu cuțit fixat cu fața de degajare în jos.

3 000 N/mm pentru prelucrările de degroșare și de 10 000 N/mm pentru cele de finisare și chiar mai mult;

— să se facă prelucrarea cu cuțite obișnuite, însă fixate „invers", adică cu fața de degajare în jos, așa cum se vede în figura 4.3.79. Cu cuțitul fixat în această poziție se face în special retezarea, precum și strunjirea cu avans transversal a suprafețelor profilate.

Din profilogramele reprezentate în figura 4.3.80 rezultă influența acestui mod de fixare a cuțitului asupra intensității vibrațiilor. Strunjirea s-a făcut în condiții identice cu cuțitul fixat în mod obișnuit și cu cuțitul fixat cu fața de degajare în jos, cu următorul regim de așchiere: $v = 27$ m/min; $t = 8$ mm; $s = 0{,}12$ mm/rot, [4].

Evitarea aproape completă a vibrațiilor la strunjirea cu cuțitul fixat cu fața de degajare în jos, se datorește faptului că F_z, componenta tangențială a forței de așchiere, acționează de sus în jos asupra piesei, respectiv asupra piesei, respectiv asupra arborelui principal al strungului, în aceeași direcție cu greutatea acestuia, lucru care face ca în lagăre să aibă loc o aderare a fuselor arborelui în zona inferioară a lagărului (fig. 4.3.81). În felul acesta jocul din lagăre nu mai influențează asupra vibrațiilor, ca în cazul în care cuțitul este fixat obișnuit. În afară de cele arătate mai sus, eliminarea vibrațiilor se mai datorește și faptului că între suprafețele de reazem ale săniilor, păpușilor și ghidajele batiului are loc o aderare mai mare și o mai pronunțată dispersare a energiei.

3. **Regimul de așchiere,** așa cum s-a mai arătat, are o influență foarte mare asupra apariției autovibrațiilor în timpul așchierii. Pentru evitarea apariției acestor vibrații se recomandă ca prelucrarea să se facă cu:

— viteza de așchiere cuprinsă fie în zona vitezelor mici, fie în zona vitezelor mari (fig. 4.3.82);

— așchii pe cît posibil nu prea late și subțiri.

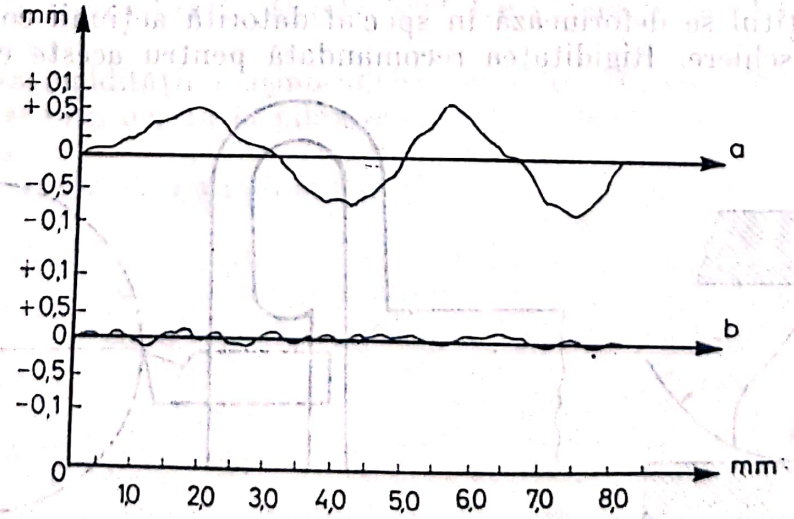


Fig. 4.3.80. Înălțimea undelor vibratorii la strunjirea:
a — cu cuțitul fixat normal; *b* — cu cuțitul fixat cu fața de degajare în jos.

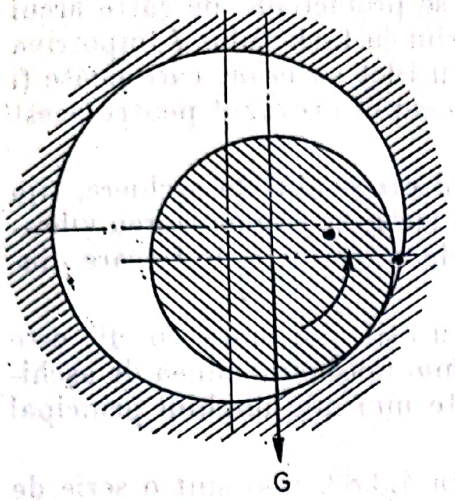


Fig. 4.3.81. Poziția fusului arborelui principal al strungului în lagăr în timpul strunjirii cu cuțitul fixat cu fața de degajare în jos.

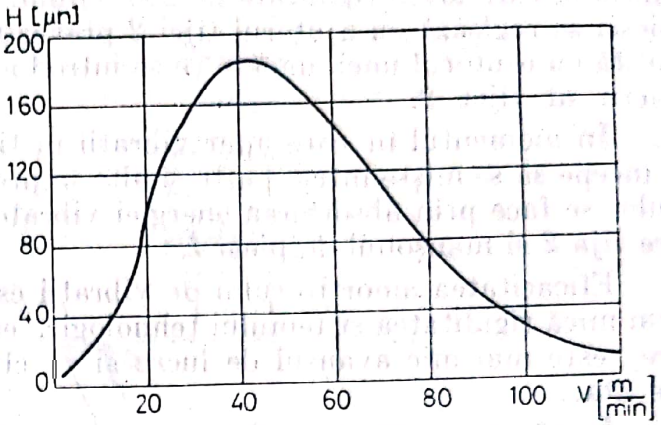


Fig. 4.3.82. Curba de variație a înălțimii undei vibratorii funcție de viteza de așchiere.

4. **Utilizarea amortizoarelor** este unul din mijloacele cele mai eficace de luptă împotriva apariției și eliminării vibrațiilor de orice natură. Acțiunea amortizoarelor asupra piesei este diferită principial de cea a lunetelor. Amortizorul de vibrații contribuie la reducerea intensității vibrațiilor, absorbind energia mișcării vibratorii. Deci, un amortizor de vibrații, fără a spori rigiditatea sistemului tehnologic, respectiv a piesei, evită posibilitatea copierii erorilor de formă a semifabricatului pe piesă, absoarbe energia vibratorie și asigură desfășurarea liniștită a procesului de așchiere.

În figura 4.3.83 este reprezentat amortizorul de vibrații cu ajutorul căruia sînt amortizate vibrațiile la prelucrarea axelor lungi și subțiri pe baza forței de frecare. Forța de frecare este creată de manșonul de piele *1* comprimat cu piulița cu renuri. Piesa este strînsă între rola *5* și tachetul *4* din fontă modifi-

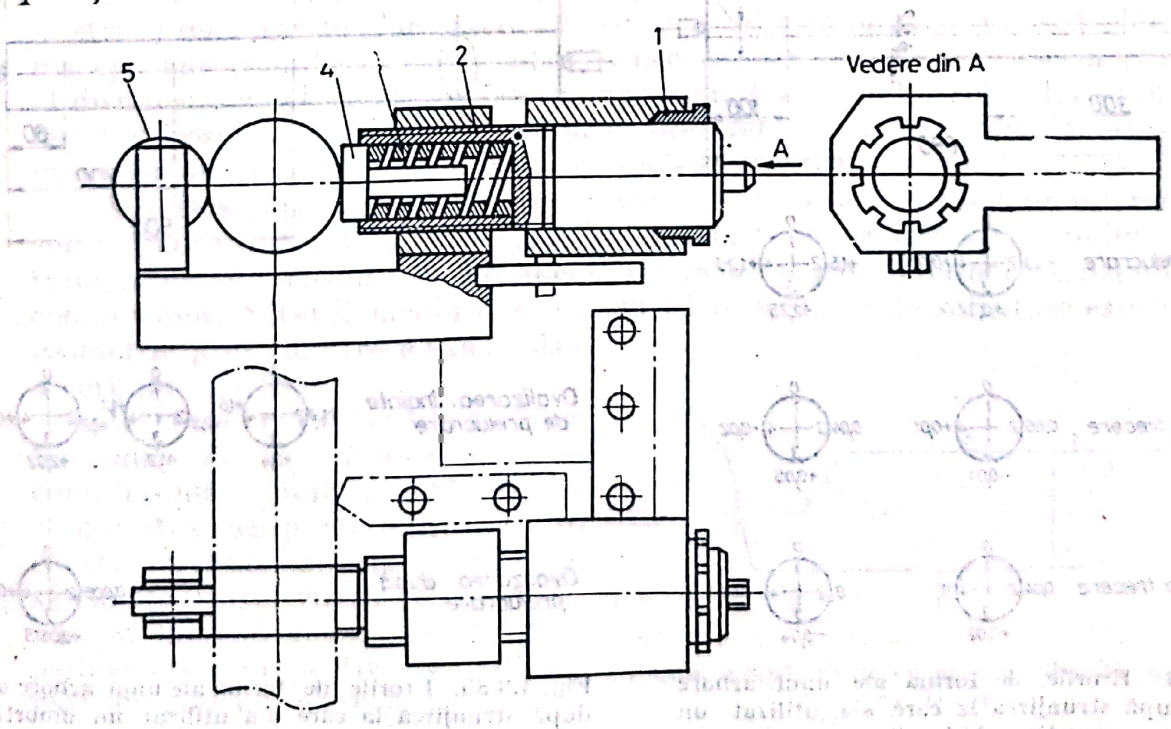


Fig. 4.3.83. Amortizor de vibrații.

cată. Tachetul *4* este presat împotriva piesei ce se prelucrează de către arcul spiral *3*, care are o rigiditate de 200 N/mm. Presiunea tachetului *4* împotriva piesei se reglează cu ajutorul tijei *2* prevăzută cu filet exterior, care poate fi rotită cu ajutorul unei manete ce se introduce pe capul prevăzut pentru acest lucru al tijei *2*.

În momentul în care apar vibrații în timpul procesului de așchiere, tija *2* începe să se miște într-o parte și alta împreună cu piesa. Amortizarea vibrațiilor se face prin absorbirea energiei vibratorii de către forța de frecare dintre tija *2* și manșonul de piele *1*.

Eficacitatea amortizorului de vibrații este cu atît mai mare cu cît: este mai mică rigiditatea sistemului tehnologic, este mai mare adîncimea de așchiere, este mai mic avansul de lucru și cu cît este mai mic unghiul principal de atac.

În afară de amortizorul reprezentat în figura 4.3.83, mai sînt o serie de amortizoare în care absorbirea energiei vibratorii se face hidraulic.

Cu ajutorul unui astfel de amortizor s-au făcut experiențele la prelucrarea unor arbori lungi și subțiri din bare excentrice și ovale, [4]. Prelucrarea a avut loc fără vibrații. Precizia de prelucrare obținută este indicată în figura (4.3.84) (în jurul cercurilor sînt scrise indicațiile ceasului comparator).

La prelucrarea piesei reprezentate, amortizorul de vibrații a fost fixat pe căruciorul strungului înaintea cuțitului. Suprafața semifabricatului a fost neregulată.

Rezultate mult mai interesante au fost obținute la prelucrarea unui arbore lung și subțire dintr-un semifabricat oval. Precizia obținută este indicată în figura 4.3.85.

Atît în primul caz cît și în cel de-al doilea, prelucrarea cu lunete obișnuite rigide nu ar fi fost posibilă dacă în prealabil nu s-ar fi strunjit curat un fus pentru lunetă.

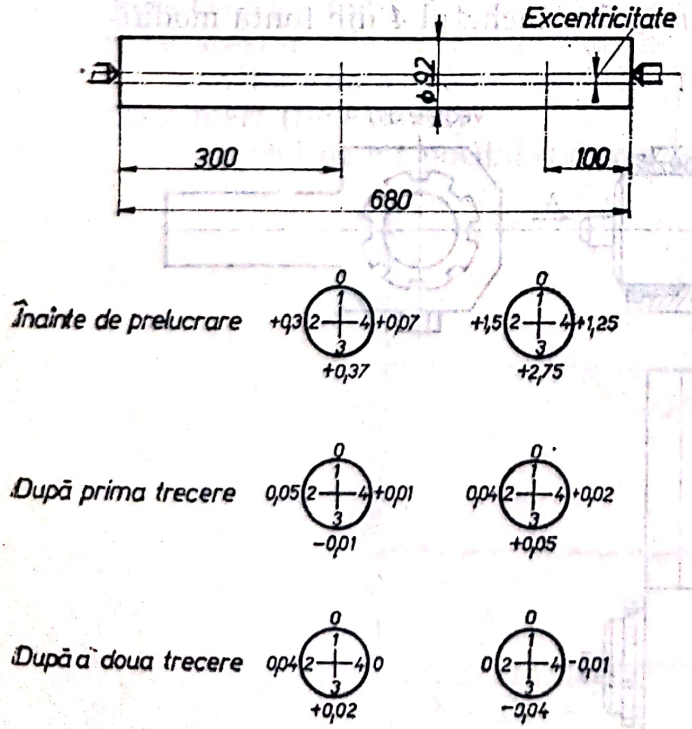


Fig. 4.3.84. Erorile de formă ale unui arbore excentric după strunjirea la care s-a utilizat un amortizor hidraulic.

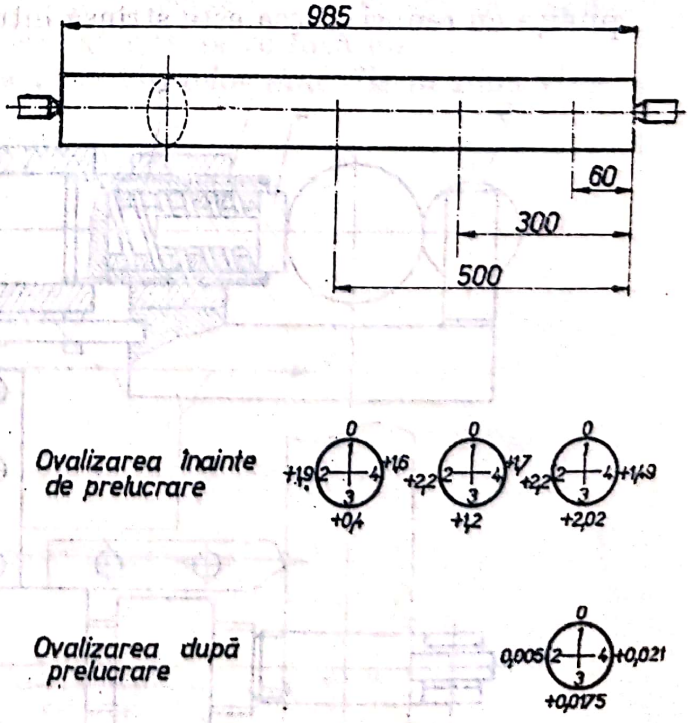


Fig. 4.3.85. Erorile de formă ale unui arbore oval după strunjirea la care s-a utilizat un amortizor hidraulic.

Scanned with OKEN Scanner

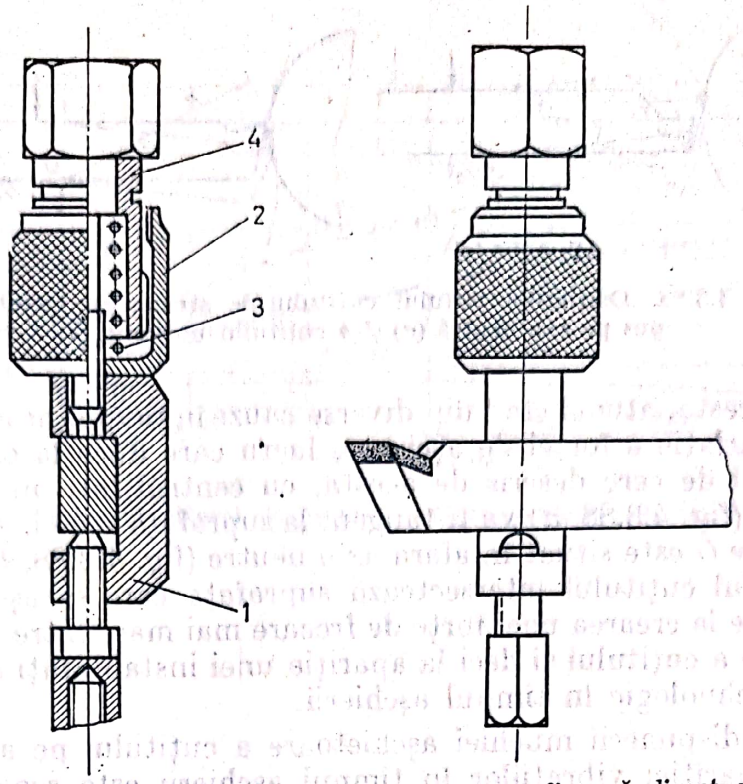


Fig. 4.3.86. Amortizor dinamic care se fixează direct pe corpul cuţitului.

Pentru amortizarea vibraţiilor cuţitului de strung la strunjirea rapidă, în figura 4.3.86 este reprezentat un amortizor dinamic. Acest amortizor se fixează pe corpul cuţitului cu ajutorul unei brăţări. Amortizorul constă dintr-o bucşă *2*, comprimată de resortul *3* pe brăţara *1*. Forţa de compresiune a arcului se poate regla cu ajutorul şurubului şi bucşei *4*. Absorbirea energiei vibratorii se produce datorită ciocnirii dintre bucşa *2* şi brăţara *1*, precum şi parţial datorită dispersării energiei în filet şi celelalte îmbinări.

Utilizarea cuţitelor cu muchie dispusă pe axa neutră (fig. 4.3.87), atît la strunjirea suprafeţelor exterioare cît şi a celor interioare, asigură eliminarea aproape completă a vibraţiilor cu caracter autooscilator. Efectul pozitiv al dispunerii muchiei aşchietoare pe axa neutră a corpului cuţitului se manifestă îndeosebi la cuţitele de strunjit suprafeţe interioare, cînd acestea au lungimea în consolă relativ mare şi secţiunea mică.

Atît la strunjirea suprafeţelor exterioare cît şi a suprafeţelor interioare, sub acţiunea forţei de aşchiere apar în straturile superioare ale corpului cuţitului respectiv tensiuni de întindere, iar în straturile inferioare tensiuni de compresiune. Stratul mediu care nu suferă nici un fel de solicitare este locul geometric prin care trece axa neutră a corpului cuţitului.

Pentru a crea un echilibru între tensiunile de întindere şi cele de compresiune, echilibru care asigură stabilitatea corpului cuţitului în consolă, trebuie ca forţa de aşchiere să solicite cuţitul chiar pe axa neutră, ceea ce impune dispunerea muchiei aşchietoare, respectiv a vîrfului cuţitului, exact pe axa neutră.

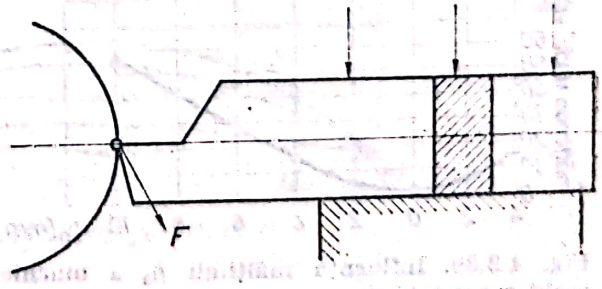


Figura 4.3.87. Cuţit cu muchia dispusă pe axa sa neutră.

Scanned with OKEN Scanner

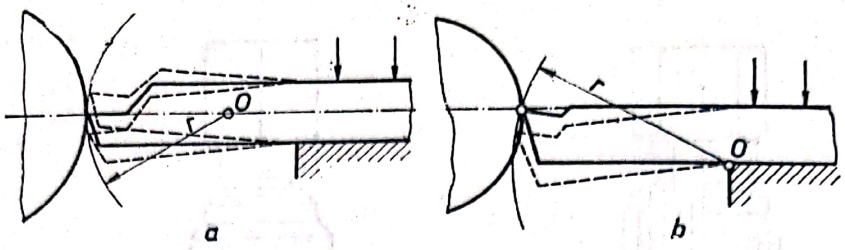


Fig. 4.3.88. Oscilațiile vîrfului cuțitului de strung cu vîrful dispus pe axa neutră (*a*) și a cuțitului obișnuit (*b*).

În felul acesta, atunci cînd din diverse cauze în timpul procesului de așchiere apare o variație a forței de așchiere, lucru care duce la oscilația vîrfului cuțitului, arcul de cerc descris de acesta, cu centrul într-un punct O situat pe axa neutră (fig. 4.3.88, *a*) va fi tangent la suprafața piesei. Atunci cînd centrul de oscilație O este situat în afara axei neutre (fig. 4.3.88, *b*), arcul de cerc descris de vîrful cuțitului intersectează suprafața care se așchiază a piesei, ceea ce conduce la crearea unei forțe de frecare mai mare între acesta și suprafața de așezare a cuțitului și deci la apariția unei instabilități mai pronunțate a sistemului tehnologic în timpul așchierii.

Influența dispunerii muchiei așchietoare a cuțitului pe axa neutră asupra evitării apariției vibrațiilor în timpul așchierii este scoasă în evidență de rezultatele experimentale comparative la strunjirea cu astfel de cuțite obișnuite. Astfel, în diagrama din figura 4.3.89 este redată influența înălțimii h_0 a muchiei așchietoare față de axa neutră, asupra înălțimii undei vibratorii la strunjirea interioară cu $v = 100$ m/min, $t = 3$ mm și $s = 0{,}16$ mm/rot. După cum se vede, atunci cînd $h_0 = 0$, înălțimea undei vibratorii de pe suprafața piesei este numai 2 ... 3 μm, ajungînd pînă la 55 μm cînd $h_0 = 10$ mm.

Dacă la strunjirea cu cuțite obișnuite viteza de așchiere are o influență mare asupra înălțimii undei vibratorii (fig. 4.3.82) la strunjirea cu cuțite cu muchia așchietoare dispusă pe axa neutră, viteza de așchiere are o influență foarte mică. Acest lucru este ilustrat în figura 4.3.90. Strunjirea s-a făcut cu adîncimea de așchiere $t = 5$ mm, iar avansul $s = 0{,}16$ mm/rot. Cuțitele au avut unghiul principal de atac $x = 90°$. Materialul care s-a prelucrat a fost oțel tenace.

Lungimea în consolă a cuțitului are o influență foarte mare asupra intensității vibrațiilor la strunjirea atît cu cuțite obișnuite cît și cu cuțite cu muchia așchietoare dispusă pe axa neutră. Acest lucru este ilustrat în figura 4.3.91, *a* și *b*. După cum se vede și în acest ultim caz (fig. 4.3.91, *b*) ca și în cazul general, înălțimea undei vibratorii crește cu creșterea vitezei pînă la o valoare maximă, după care scade cu creșterea în continuare a vitezei de așchiere.

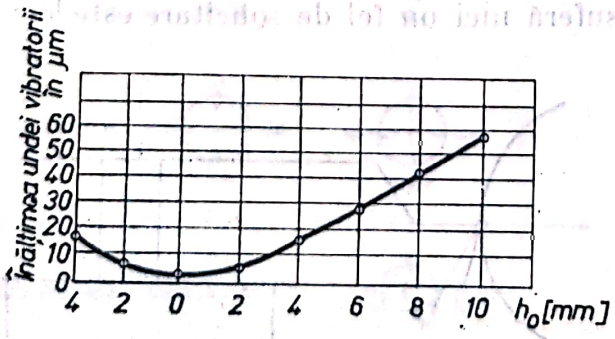


Fig. 4.3.89. Influența înălțimii h_0 a muchiei așchietoare față de axa neutră, asupra înălțimii undei vibratorii.

Asupra înălțimii undei vibratorii la strunjirea suprafețelor interioare are influență apreciabilă și valoarea unghiului principal de atac în plan x, într-o măsură mai mare la strunjirea cu cuțite obișnuite și mai mică la strunjirea cu cuțite cu muchia așchietoare dispusă pe axa

Scanned with OKEN Scanner

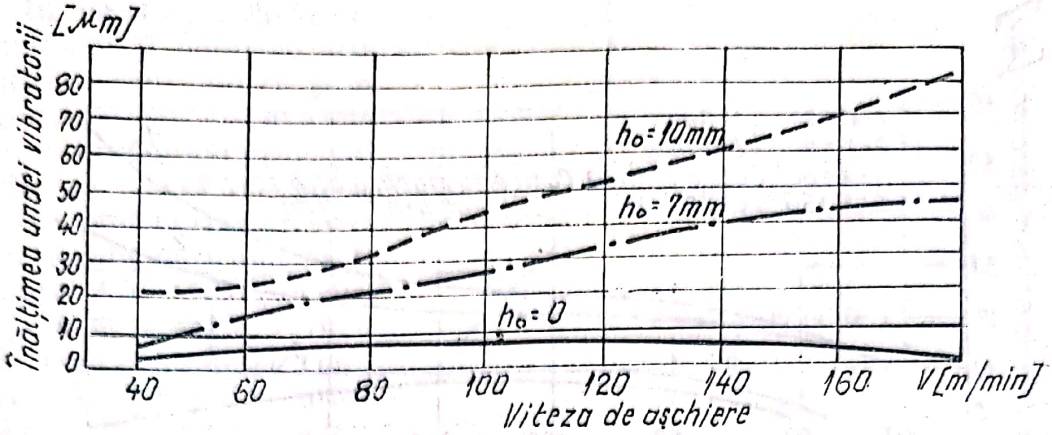
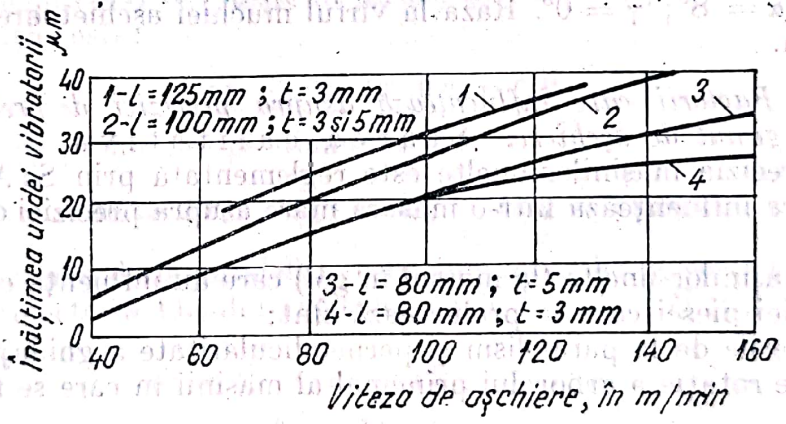
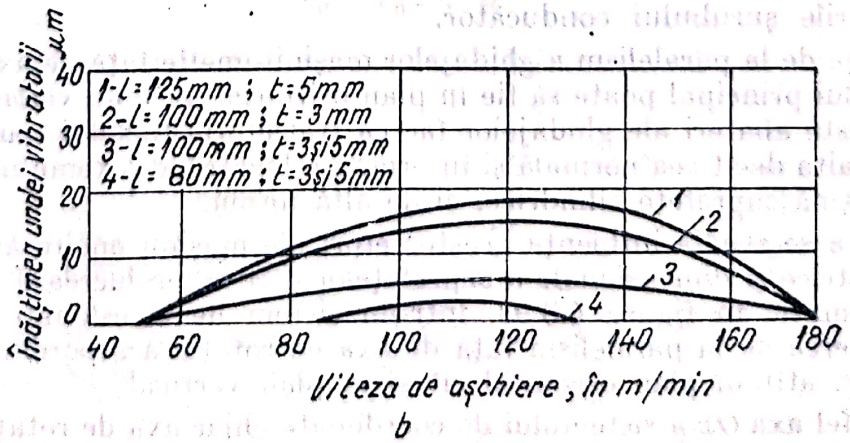


Fig. 4.3.90. Influența vitezei de așchiere asupra înălțimii undei vibratorii.



a



b

Fig. 4.3.91. Influența vitezei de așchiere asupra înălțimii undei vibratorii la strunjirea interioară cu cuțite.

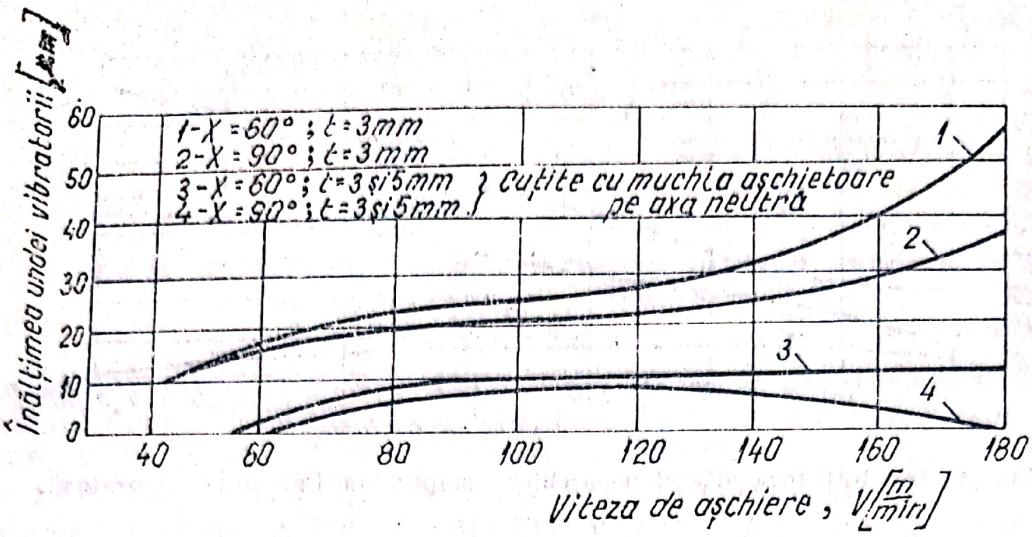


Fig. 4.3.92. Influența vitezei de așchiere asupra înălțimii undei vibratorii la strunjirea cu cuțite obișnuite (*1* și *2*) și cu muchia așchietoare pe axa neutră (*3* și *4*), cu diverse unghiuri de atac χ.

neutră. Această influență este reprezentată în figura 4.3.92. Celelalte unghiuri care definesc geometria părții așchietoare a cuțitului pentru strunjirea suprafețelor interioare cu muchia dispusă pe axa neutră se recomandă a fi următoarele: $\alpha = 8°$; $\gamma = 0°$. Raza la vîrful muchiei așchietoare trebuie să fie $r \leqslant 0{,}5$ mm.

4.3.6.1.2. *Factorii care influențează asupra preciziei de prelucrare independenți de regimul de așchiere.* S t a r e a c a l i t a t i v ă a m a ș i n i i - u n e l t e. Precizia mașinilor-unelte este reglementată prin STAS, deoarece erorile acestora influențează într-o măsură mare asupra preciziei de prelucrare a pieselor.

Erorile mașinilor-unelte (la mersul în gol) care au influența cea mai mare asupra preciziei piesei care se prelucrează sînt:

1 — abaterile de la paralelism și perpendicularitate a ghidajelor batiului față de axa de rotație a arborelui principal al mașinii în care se fixează piesa sau scula;

2 — abaterea de la rectilinitate a ghidajelor;

3 — erorile de formă (ovalitatea) a fuselor arborelui principal și a lagărelor;

4 — erorile șurubului conducător.

Abaterea de la paralelism a ghidajelor mașinii-unelte față de axa de rotație a arborelui principal poate să fie în plan orizontal, în plan vertical sau în ambele. Aceste abateri ale ghidajelor fac ca traiectoria tăișului sculei așchietoare să fie alta decît cea normală și în urma prelucrării, de exemplu pe strung, să nu se obțină suprafețe cilindrice, ci de altă formă.

Pentru a se studia influența acestor erori ale mașinii-unelte asupra preciziei geometrice și dimensionale a suprafețelor care se prelucrează, s-a reprezentat schematic în figura 4.3.93, într-un sistem de coordonate tridimensional, abaterea de la paralelism față de axa de rotație a arborelui principal a ghidajelor, atît în plan orizontal cît și în plan vertical.

Fie astfel axa Ox a sistemului de coordonate chiar axa de rotație a arborelui principal, respectiv a piesei care se prelucrează, aceasta din urmă fiind fixată în universal (în cazul studiat).

Scanned with OKEN Scanner

În cazul cînd ghidajele batiului ar fi paralele, atît în planul orizontal cît și în planul vertical, cu axa de rotație a arborelui principal al mașinii, respectiv a piesei care se prelucrează, traiectoria tăișului cuțitului ar fi dreapta AB, situată la distanța r_0 de aceasta, r_0 fiind chiar raza suprafeței cilindrice rezultate în urma prelucrării.

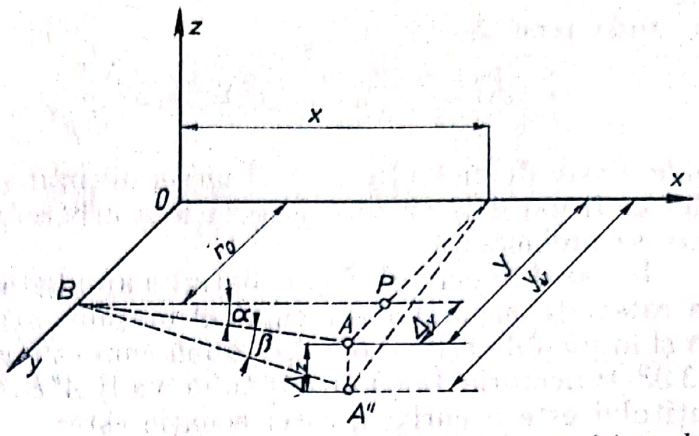


Fig. 4.3.93. Reprezentarea schematică într-un sistem de axe tridimensional X, Y, Z a abaterilor de la paralelism a ghidajelor față de axa de rotație a arborelui principal.

Datorită abaterii de la paralelism a ghidajelor în planul orizontal cu mărimea y față de axa Ox, traiectoria tăișului cuțitului va fi dreapta AB, înclinată cu unghiul α față de traiectoria corectă PB.

Ecuația traiectoriei respective, după cum se vede din figura 4.3.93 este:

$$y = r_0 + \Delta y = r_0 + x \operatorname{tg} \alpha. \tag{4.3.334}$$

Dacă dreapta AB se rotește în jurul axei Ox se obține o suprafață conică a cărei ecuație este:

$$y^2 + z^2 = (x \operatorname{tg} \alpha + r_0)^2. \tag{4.3.335}$$

Eroarea de prelucrare pe diametru d este:

$$\Delta d = 2(r_0 + \Delta y) - 2r_0 = 2\Delta y = 2x \operatorname{tg} \alpha. \tag{4.3.336}$$

Dacă abaterea de la paralelism este numai în planul vertical cu o mărime Δz, atunci traiectoria tăișului cuțitului va fi dreapta CB (fig. 4.3.94). În acest caz:

$$y^2 = r_0^2 + \Delta z^2 = r_0^2 + x^2 \operatorname{tg}^2 \beta; \tag{4.3.337}$$

$$y^2 - x^2 \operatorname{tg}^2 \beta = r_0^2;$$

$$\frac{y^2}{r_0^2} - \frac{x^2}{r_0^2 \operatorname{ctg}^2 \beta} = 1. \tag{4.3.338}$$

După cum se vede, s-a obținut ecuația unei hiperbole, iar suprafața rezultată prin rotirea ei în jurul axei Ox, egală cu suprafața piesei obținută în urma prelucrării, va fi un hiperboloid de revoluție.

Eroarea de prelucrare pe diametru Δd în acest caz va fi:

$$\Delta d = 2y - 2r_0 = 2\sqrt{r_0^2 + \Delta z^2} - d, \tag{4.3.339}$$

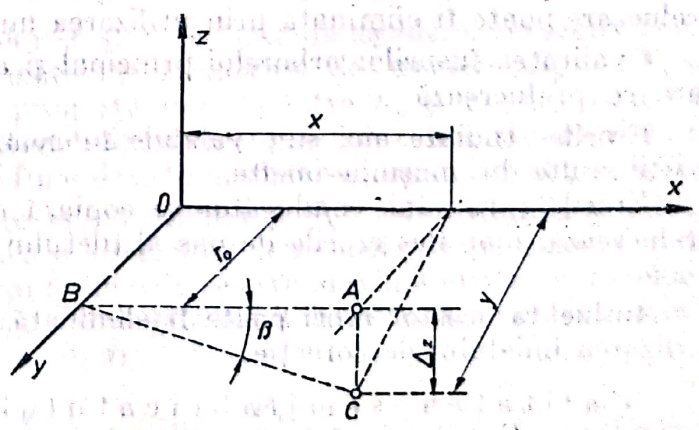


Fig. 4.3.94. Abaterea de la paralelism în plan vertical a ghidajelor față de axa de rotație a arborelui principal.

Scanned with OKEN Scanner

de unde rezultă

$$\Delta d = 2\frac{\Delta z^2}{d}, \qquad (4.3.340)$$

unde d este diametrul corect al piesei obținut în cazul în care ghidajele batiului ar fi paralele cu axa de rotație a arborelui principal, respectiv a piesei care se prelucrează.

În cazul în care ghidajele batiului au abatere de la paralelism față de axa de rotație a arborelui principal al mașinii, atît în planul orizontal (cu Δy) cît și în planul vertical (cu Δz), după cum este reprezentat schematic în figura 4.3.93 traiectoria tăișului cuțitului va fi $A''B$. În spațiu traiectoria vîrfului cuțitului este o curbă a cărei ecuație este:

$$y_v^2 = (r_0 + \Delta y)^2 + \Delta z^2, \qquad (4.3.341)$$

în care

$$\Delta y = x \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\Delta z = AB \operatorname{tg} \beta = \frac{x}{\cos \alpha} \operatorname{tg} \beta = x \operatorname{tg} \beta,$$

deoarece unghiul α fiind mic se admite $\cos \alpha = 1$.

Rezultă deci, că:

$$y_v^2 = (r_0 + x \operatorname{tg} \alpha)^2 + x^2 \operatorname{tg}^2 \beta = x^2(\operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta) + 2 r_0 \operatorname{tg} \alpha + r_0^2. \qquad (4.3.342)$$

S-a obținut și în acest caz, ecuația unei hiperbole. Rezultă deci, că în urma prelucrării vîrful cuțitului parcurgînd în spațiu o cubră hiperbolică, piesa prelucrată va avea forma unui hiperboloid de revoluție.

Atunci cînd prelucrarea piesei se face între vîrfuri și axa care unește cele două vîrfuri nu este paralelă cu ghidajele batiului sau coaxială cu axa de rotație a arborelui principal, se obține o piesă cu suprafața conică.

În cazul în care ghidajele saniei transversale a strungului nu sînt perpendiculare pe axa de rotație a arborelui principal la prelucrarea unei suprafețe frontale cu avans transversal, se obține o denivelare, o abatere pozitivă sau negativă de la planietate, funcție de direcția abaterii de la perpendicularitate.

Abaterea de la rectilinitate a ghidajelor batiului în planul orizontal, mai ales la strungurile mari (cu lungimea batiului de cîțiva metri), duce la strunjirea unor arbori lungi, la obținerea unei suprafețe profilate, funcție de eroarea respectivă a ghidajelor. Influența acestei erori asupra preciziei de prelucrare poate fi eliminată prin utilizarea unui linial de corecție.

Ovalitatea fusurilor arborelui principal și a lagărelor se copiază pe piesa care se prelucrează.

Erorile studiate aici sînt valabile în general, parțial sau total, pentru foarte multe din mașinile-unelte.

Erorile șurubului conducător se copiază de asemenea pe piesa care se prelucrează, mai ales erorile de pas al filetului acestuia precum și bătaia radială.

Influența acestor erori poate fi eliminată ca și în cazul precedent prin utilizarea linialului de corecție.

Calitatea semifabricatului primar și intermediar. Erorile de formă geometrică ale semifabricatelor se reproduc într-o măsură mai mare sau mai mică pe piesă, în funcție de rigiditatea siste-

Scanned with OKEN Scanner

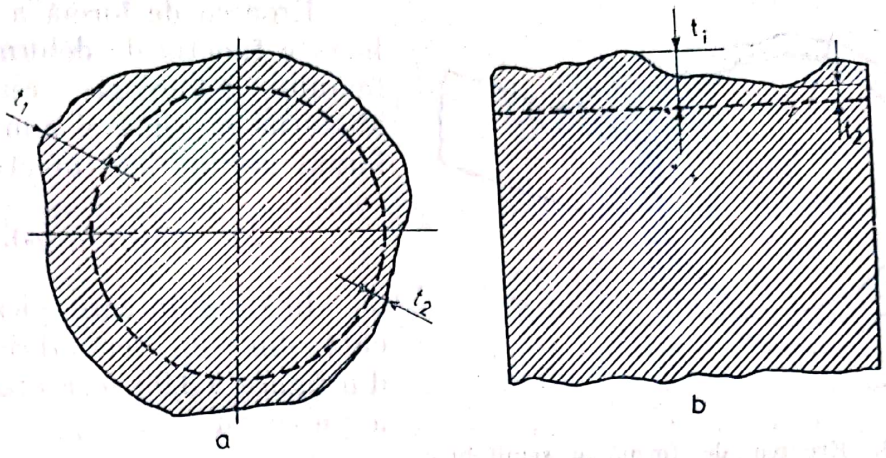


Fig. 4.3.95. Semifabricate forjate cu erori de formă.

mului tehnologic *MUPS*. Cu cît este mai apropiată forma geometrică a semifabricatului de forma piesei finite, cu atît mai unfiform este stratul de metal ce se îndepărtează în timpul aşchierii şi cu atît mai uniform va fi adîncimea de aşchiere şi mai constantă forţa de aşchiere. La prelucrarea cu forţă constantă de aşchiere, deformaţia elastică a sistemului este constantă, iar erorile de formă ale piesei, egale cu zero.

Deoarece, în general semifabricatele au abateri mai mari sau mai mici de la forma geometrică corectă, iar sistemul tehnologic *MUPS* nu are o rigiditate corespunzător de mare, la prelucrarea pieselor apar erori de prelucrare. În cele ce urmează se determină relaţiile de calcul ale erorilor de prelucrare provocate de erorile de formă geometrică ale semifabricatelor.

În acest scop, se introduce noţiunea de coeficient de precizie ε, egal cu raportul erorii maxime de formă a semifabricatului Δs şi a piesei Δp, adică:

$$\varepsilon = \frac{\Delta s}{\Delta p}.$$

Fie drept semifabricat o bară sau o placă forjată (fig. 4.3.95).

După cum se vede în figura prezentată, forma geometrică a barei şi a plăcii prezintă abateri faţă de forma geometrică corectă. Abaterea maximă este notată cu t_1, iar cea minimă cu t_2.

La prelucrarea prin strunjire a semifabricatului bară, în timpul unei rotaţii complete a acestuia apar adîncimi diferite de aşchiere (maximă — t_1, minimă — t_2).

Din teoria aşchierii metalelor se ştie, că forţa de aşchiere, respectiv componenta F_y a acesteia, este funcţie de adîncimea de aşchiere $F_y = \lambda F_z = \lambda C_p t s^q$ (λ este coeficient de proporţionalitate între F_y şi F_z; C_p — coeficientul care ţine seama de caracteristicile aşchietoare ale sculei şi materialului care se prelucrează, valoarea lui fiind dată în normative; coeficientul $q = 0{,}75$).

Dacă adîncimea de aşchiere este variabilă şi F_y va fi variabilă şi o dată cu aceasta şi deformaţia elastică a sistemului tehnologic, după cum se vede în figura 4.3.96, maximă y_1, în punctul în care este maximă abaterea de formă a semifabricatului t_1 şi minimă y_2, acolo unde semifabricatul are abaterea minimă t_2. Aceste deformaţii elastice vor fi:

$$y_1 = \frac{F_{y_1}}{j_1}; \qquad y_2 = \frac{F_{y_2}}{j_2}. \tag{4.3.343}$$

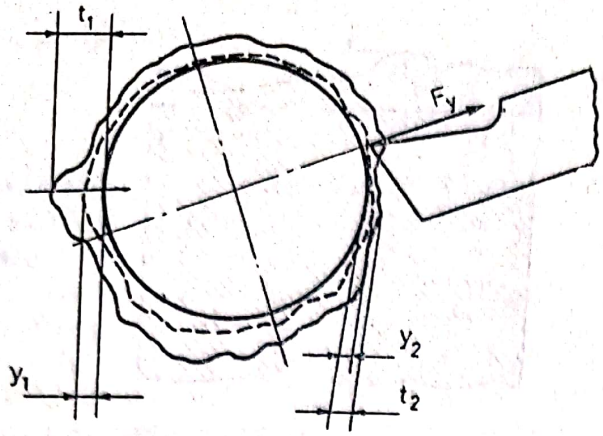


Fig. 4.3.96. Eroarea de formă a semifabricatului și a piesei prelucrate.

Eroarea de formă a piesei prelucrate funcție de deformațiile sistemului tehnologic, respectiv de abaterile maximă și minimă de la forma geometrică corectă este:

$$\Delta p = 2(y_1 - y_2). \quad (4.3.344)$$

În cazul în care piesa se execută dintr-un semifabricat ca cel din figura 4.3.95, *b* eroarea de formă a piesei este:

$$\Delta p = y_1 - y_2. \quad (4.3.345)$$

Coeficientul de precizie ε la rîndul lui va fi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta s}{\Delta p} = \frac{t_1 - t_2}{y_1 - y_2}. \quad (4.3.346)$$

Dacă în relația obținută se introduc relațiile (4.3.343) se obține:

$$\varepsilon = \frac{t_1 - t_2}{\frac{F_{y1}}{j_1} - \frac{F_{y2}}{j_2}} = \frac{t_1 - t_2}{F_{y1} - F_{y2}} j, \quad (4.3.347)$$

considerînd $j_1 = j_2 = j$. Introducînd de asemenea în relația coeficientului de precizie expresiile componentelor F_{y1} și F_{y2} a forței de așchiere, se obține:

$$\varepsilon = \frac{(t_1 - t_2)j}{\lambda C_p t_1 s^q - \lambda C_p t_2 s^q} = \frac{(t_1 - t_2)j}{\lambda C_p s^q (t_1 - t_2)} = \frac{j}{\lambda C_p s^q}. \quad (4.3.348)$$

Din relația (4.3.348), înlocuind pe ε cu raportul erorilor de formă respectivă, se poate obține relația căutată, care exprimă influența erorii de formă a semifabricatului asupra preciziei de prelucrare, respectiv asupra preciziei geometrice a piesei care se prelucrează, la prelucrarea dintr-o singură trecere și anume:

$$\Delta p = \Delta s \frac{\lambda C_p}{j} s^q. \quad (4.3.349)$$

Atunci cînd prelucrarea se face din două treceri eroarea de formă a piesei după prima trecere, (notîndu-se cu $\Delta_{interm.}$ și urmînd același raționament) se obține:

$$\frac{\Delta s}{\Delta_{interm.}} = \frac{j}{\lambda C_p s_1^q}, \text{ (după prima trecere);}$$
$$\frac{\Delta_{interm.}}{\Delta_p} = \frac{j}{\lambda C_p s_2^q}, \text{ (după a doua trecere).} \quad (4.3.350)$$

Din aceste relații se obține:

$$\frac{\Delta s}{\Delta p} = \left(\frac{j}{\lambda C_p}\right)^2 \frac{1}{(s_1 s_2)^q}, \quad (4.3.351)$$

Scanned with OKEN Scanner

de unde rezultă:

$$\Delta p = \Delta s \left(\frac{\lambda C_p}{j}\right)^2 (s_1 s_2)^q. \qquad (4.3.352)$$

Dacă prelucrarea se face din trei treceri, raționînd în mod analog se obține:

$$\Delta p = \Delta s \left(\frac{\lambda C_p}{j}\right)^3 (s_1 s_2 s_3)^q. \qquad (4.3.353)$$

Deoarece condițiile de așchiere se schimbă după fiecare trecere și deci și valorile coeficienților λ și C_p precum și valoarea rigidității sistemului tehnologic, relațiile precedente vor trebui să fie scrise sub forma:

$$\Delta p_2 = \Delta s \frac{\lambda_1 \lambda_2 C_{p1} C_{p2}}{j_1 j_2} (s_1 s_2)^q, \qquad (4.3.354)$$

respectiv

$$\Delta p_3 = \Delta s \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 C_{p1} C_{p2} C_{p3}}{j_1 j_2 j_3} (s_1 s_2 s_3)^q. \qquad (4.3.355)$$

Aplicație numerică exemplificatorie

Dintr-o bară forjată cu $\sigma_r = 750$ N/mm² cu un adaos se prelucrare pe diametrul de 14 ± 3 mm și cu $\Delta S = 6$ mm, trebuie să se obțină prin strunjire un arbore cu diametrul de 150 mm. Strunjirea se face cu un cuțit armat cu plăcuță din carburi metalice, cu geometria părții așchietoare: $\varkappa_1 = 45°$; $\gamma = 0$ și $\alpha = 8°$, regimul de așchiere fiind: $v = 100$ m/min; $s = 1$ mm/rot; $t = 7$ mm.

Din normative se găsește $\lambda = 0{,}35$; $C_p = 191$. Se admit pentru rigiditatea sistemului tehnologic MUPS două valori: $j = 2000$ N/mm și $j = 1000$ N/mm.

Pentru cazul cînd $j = 2000$ N/mm, conform relației (4.3.349), se obține la prelucrarea dintr-o singură trecere:

$$\Delta_p = 6 \cdot \frac{0{,}35 \cdot 191}{2000} \cdot 1^{0{,}75} = 0{,}4 \text{ mm}.$$

Atunci cînd rigiditatea sistemului tehnologic este de numai 1000 N/mm, eroarea de formă a piesei este:

$$\Delta_p = 6 \cdot \frac{0{,}35 \cdot 191}{1000} \cdot 1^{0{,}75} = 0{,}8 \text{ mm}.$$

Dacă prelucrarea se face din două treceri, în prima trecere cu avansul $s = 1$ mm/rot, iar în a doua trecere cu $s' = 0{,}25$ mm/rot (pentru a se asigura calitatea suprafeței), eroarea de formă a piesei se calculează după relația (4.3.352) și se obține, luînd: $C_{p_1} = C_{p_2} = C_p$; $\lambda_1 = 0{,}35$; $\lambda_2 = 0{,}5$ în cazul cînd $j = 2000$ N/mm,

$$\Delta_p = 6 \cdot \frac{0{,}35 \cdot 0{,}5 \cdot 191^2}{2000^2} (1 \cdot 0{,}25)^{0{,}75} = 0{,}003 \text{ mm}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Atunci cînd rigiditatea sistemului tehnologic este de numai 1000 N/mm, eroarea de formă a piesei este:

$$\Delta_p = 6 \cdot \frac{0{,}35 \cdot 0{,}5 \cdot 191^2}{1000^2} (1 \cdot 0{,}25)^{0{,}75} = 0{,}013 \text{ mm}.$$

Din exemplul dat rezultă, că eroarea de formă a semifabricatului se copiază pe piesă într-o măsură foarte mică, la prelucrarea pe utilaje cu rigidități obișnuite, chiar și atunci cînd prelucrarea se face dintr-o singură trecere.

În cazul cînd precizia impusă piesei este mai mare, iar rigiditatea sistemului tehnologic foarte mică (de exemplu 1000 N/mm) prelucrarea se poate face fie din două treceri, fie cu un avans mai mic, care se poate calcula din relația (4.3.349) în care se consideră necunoscută valoarea avansului și anume:

$$S^q = \frac{\Delta P}{\Delta S} \cdot \frac{j}{\lambda \cdot C_p}. \qquad (4.3.355')$$

De exemplu, eroarea de formă admisibilă a piesei $\Delta p = 0{,}08$ mm, iar rigiditatea sistemului tehnologic ca și-n cazul precedent egală cu 2000 N/mm, după relația (4.3.355') rezultă:

$$s^q = \frac{0{,}08}{6} \cdot \frac{2000}{0{,}35 \cdot 191} = 0{,}4, \text{ iar } s = 0{,}3 \text{ mm/rot}.$$

● Erorile dimensionale și de formă ale sculelor cu dimensiuni fixe. Precizia instrumentelor de măsură:

a. Precizia de prelucrare a pieselor este influențată direct de precizia sculelor așchietoare în două cazuri:

1 — la prelucrarea cu o sculă care are „dimensiuni fixe", eroarea dimensiunii sculei se transmite direct piesei. Aceste scule sînt: burghiele, alezoarele, adîncitoarele, broșele, tarozii, filierele, frezele pentru caneluri, danturi etc.;

2 — la prelucrarea cu scule profilate, cum sînt: frezele profilate, cuțitele profilate, discurile de rectificat profilate etc.

Precizia sculei trebuie să fie mai mare decît precizia dimensiunii piesei ce se prelucrează.

b. Erorile dispozitivelor în care sînt fixate piesele pentru prelucrare provoacă asupra pieselor ce se prelucrează o eroare sistematică constantă. Pentru a se exclude influența erorilor dispozitivului asupra preciziei de prelucrare a pieselor, dispozitivele se execută cu o precizie mai mare decît precizia impusă pieselor pentru care ele au fost construite. De exemplu: în cazul cînd precizia pieselor ce se prelucrează este cuprinsă în clasa 7—8, toleranțele pentru dimensiunile importante ale dispozitivului se fixează de obicei astfel încît să fie egale cu 1/2 .... 1/3 din toleranța pieselor ce se prelucrează în dispozitivul respectiv.

c. Eroarea instrumentelor de măsură se reflectă în mod direct asupra preciziei de prelucrare. (De asemenea și eroarea măsurării). În cazul în care măsurarea se face cu un instrument uzat la reglarea la dimensiune a mașinii-unelte, toate piesele din lotul respectiv vor avea în plus sau în minus această eroare sistematică de măsurare, pe lîngă celelalte erori de prelucrare provocate de alți factori.

d. La prelucrarea pe mașini-unelte de copiat erorile profilului șabloanelor se copiază asupra profilului piesei ce se prelucrează.

Scanned with OKEN Scanner

● Tensiunile interne remanente din semifabricatele forjate, matriţate, turnate, sudate şi prelucrate. În practică s-au întîlnit cazuri în care piesele şi-au pierdut forma şi dimensiunile avute după prelucrare, datorită variaţiei temperaturii mediului înconjurător, care a favorizat redistribuirea tensiunilor interne.

Fie de exemplu două piese plane în formă de plăci prismatice sau liniare confecţionate din oţel, în care în urma prelucrării numai a uneia din suprafeţe s-a creat un strat ecruisat şi tensiuni interne de diferite semne.

La o variaţie a temperaturii lor piesele se deformează. Piesa care a avut tensiuni de compresiune se încovoaie înspre partea cu suprafaţa prelucrată, iar piesa care are tensiuni de întindere se încovoaie în sens invers.

Mărimea deformaţiei depinde de dimensiunile piesei, de valoarea temperaturii şi a tensiunilor remanente.

Piesele respective se pot deforma şi după prelucrarea următoare în care s-a îndepărtat de pe suprafaţa lor stratul de metal ecruisat.

Deformaţia pieselor poate apare nu numai datorită variaţiei temperaturii lor, ci şi atunci cînd după prelucrare pe suprafeţele prelucrate s-au format tensiuni de compresiune cu semne diferite.

Fie astfel o prismă dreptunghiulară cu lungimea L, lăţimea H ca în figura 4.3.97. În urma prelucrării, pe suprafaţa exterioară au apărut tensiuni interne de compresiune pe o adîncime h.

Influenţa tensiunilor interne asupra piesei respective este similară cu acţiunea a două forţe de sens contrar care acţionează în lungul suprafeţei prelucrate a piesei. Sub acţiunea acestor forţe ia naştere un moment de încovoiere:

$$M = \frac{H}{2} F. \tag{4.3.356}$$

Mărimea forţelor este:

$$F = Bh\sigma. \tag{4.3.357}$$

Introducînd relaţia (4.3.356) în (4.3.355) se obţine:

$$M = Bh\sigma \frac{H}{2}. \tag{4.3.358}$$

Dacă se îndepărtează de pe suprafaţa piesei stratul de metal în care sînt concentrate tensiunile interne, piesa se deformează în sens invers deformaţiei produse sub acţiunea momentului M.

Pentru forma dată a solicitării, deformaţia piesei se determină după relaţia cunoscută:

$$f = \frac{ML^2}{8EI} = \pm \frac{BL^2h\sigma}{8EW_z}, \tag{4.3.359}$$

unde W_z este momentul de rezistenţă al secţiunii egal cu $\frac{2I_z}{H}$.

Pentru bara cu secţiune dreptunghiulară $W_z = \frac{BH^2}{6}$.

În acest caz rezultă:

$$f = \pm \frac{3}{4} \frac{h\sigma}{E} \left(\frac{L}{H}\right)^2. \tag{4.3.360}$$

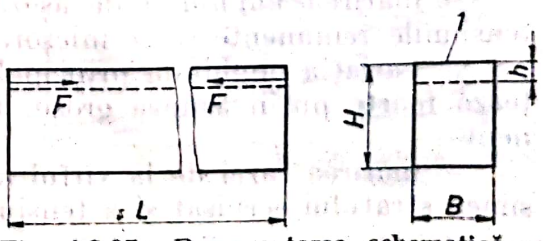


Fig. 4.3.97. Reprezentarea schematică a tensiunilor interne într-o piesă prismatică.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă piesa este prelucrată pe două suprafețe opuse și are stratul superficial ecruisat diferit cu tensiunile interne σ_1 și σ_2 atunci relația (4.3.360) devine:

$$f = \pm \frac{3}{4} \frac{h(\sigma_1 - \sigma_2)}{E} \left(\frac{L}{H}\right)^2. \qquad (4.3.361)$$

Din cele două relații (4.3.369) și (4.3.370) se vede că deformația piesei este cu atît mai mare cu cît este mai mare lungimea ei și tensiunile interne și mai mică înălțimea.

Exemplu: o bară cu secțiunea dreptunghiulară 50 × 100 mm și lungimea $L = 1\,000$ mm în urma prelucrării, stratul superficial a fost ecruisat pe o adîncime $h = 0{,}3$ mm și au apărut tensiunile interne $\sigma = \pm 25 \cdot 10$ MPa. Dacă se ia pentru oțel: $E = 2 \cdot 10^5$ MPa, se obține cu ajutorul relației (10.93) o săgeată egală cu $f = 0{,}05$ mm.

Același rezultat se obține dacă se înlătură stratul ecruisat sau atunci cînd are loc o redistribuire a tensiunilor interne datorită încălzirii neuniforme a piesei.

Mărimea deformației ΔL a barei se determină după relația:

$$\Delta L = \frac{PL}{ES}. \qquad (4.3.362)$$

Dacă pentru bara cilindrică cu diametrul d valoarea efortului este egal cu $P = \pi dh(\pm \sigma)$, se obține:

$$\Delta L = \pm \frac{2\pi dh\sigma L}{E\pi d^2} = \pm \frac{4h\sigma L}{Ed}. \qquad (4.3.363)$$

În această relație semnul „+" se ia pentru întindere, iar semnul „—" pentru compresiune.

Exemplu: o bară cilindrică cu $L = 1\,000$ mm; $d = 50$ mm; $E = 2 \cdot 10^5$ MPa $\sigma = +30 \cdot 10$ MPa și $h = 0{,}4$ mm.

Introducînd valorile respective se obține că $\Delta L \approx 0{,}5$ mm.

Cele mai mari deformații datorită tensiunilor interne sau redistribuirii acestora se obțin la piesele care au formă de plăci și liniale la care lungimea este de multe ori mai mare decît grosimea.

Deformația pieselor se poate evita numai dacă mărimea stratului ecruisat este minimă sau egală pe suprafețele opuse.

Asupra grosimii stratului ecruisat și a tensiunilor remanente în stratul superficial o influență foarte mare o are în afară de regimul de așchiere, geometria părții așchietoare și vibrațiile care apar în timpul așchierii. Astfel, s-a constatat experimental că:

— mărirea unghiului de așezare face ca grosimea stratului ecruisat și tensiunile remanente să se micșoreze;

— variația unghiului principal de atac în plan de la 12° la 75° influențează foarte puțin asupra grosimii stratului ecruisat și a tensiunilor remanente;

— mărirea razei de la vîrful muchiei așchietoare a sculelor face ca grosimea stratului ecruisat și a tensiunilor interne să se mărească;

— mărirea uzurii muchiilor așchietoare a sculelor conduce la creșterea grosimii stratului ecruisat și mărirea tensiunilor remanente;

Scanned with OKEN Scanner

— grosimea stratului ecruisat și tensiunile remanente se măresc, cu mărirea avansului;

— grosimea stratului ecruisat se mărește cu mărirea vitezei de așchiere, iar la prelucrarea cu viteze de așchiere cuprinse între 250—300 m/min, rămîne constantă;

— la prelucrările cu vibrații grosimea stratului ecruisat și tensiunile remanente sînt mai mari decît la prelucrările fără vibrații.

● Eroarea de reglare inițială la dimensiune a mașinii-unelte. Scopul reglării inițiale la dimensiune a mașinilor-unelte este de a asigura obținerea preciziei impuse unui număr cît mai mare de piese din lot pînă la prima reglare de compensare.

Pentru rezolvarea acestei probleme, după cum se vede din diagrama teoretică a preciziei de prelucrare (fig. 4.3.98) este necesar a plasa cît mai corect posibil cîmpul de dispersie ω_T generat de acțiunea comună a tuturor factorilor întîmplători față de limita cîmpului de toleranță stabilit. Pentru acest lucru mai întîi de toate este necesar a ști ce dimensiune se tinde a fi obținută la reglarea la dimensiune a mașinii-unelte (maximă, minimă sau medie). Dimensiunea care trebuie obținută la prima sau primele piese care se prelucrează pe mașina-unealtă reglată la dimensiune se numește convențional *dimensiune de reglaj* și se notează cu D_r.

Reglarea la dimensiune a mașinii-unelte se poate face static sau dinamic. La reglarea statică muchia așchietoare a sculei se fixează la distanța D_s față de baza de control a piesei, distanță egală cu dimensiunea care trebuie obținută (dimensiunea piesei) D_p, adică $D_s = D_p$. La intrarea sculei în așchie, datorită cedării sistemului tehnologic *MDPS*, dimensiunea piesei va deveni diferită de dimensiunea de reglaj static, adică $D_s \neq D_p$. Diferența dintre aceste dimensiuni este egală cu mărimea cedării sistemului tehnologic.

Întrucît cedarea nu se poate determina analitic fără determinarea prealabilă a rigidității, trebuie pentru obținerea dimensiunii impuse să se facă reglarea dinamică prin luare de așchii de probă.

Reglarea dinamică după așchii de probă constă în fixarea muchiei așchietoare a sculei într-o poziție aproximativă față de baza de control și îndepărtarea cu avans de lucru a unui strat de metal de pe o lungime care permite măsurarea dimensiunii obținute. Dacă în urma măsurării se constată că nu s-a obținut dimensiunea impusă, se deplasează scula în direcția necesară cu numărul de gradații corespunzător de pe tamburul gradat al șurubului conducător al saniei respective. Lungimea de pe care se va îndepărta de data aceasta metal va trebui să fie mai mare decît precedenta, pentru ca așchierea să se facă cu toată adîncimea de așchiere, pentru a se produce cedarea sistemului tehnologic corespunzătoare adîncimii reale de așchiere, respectiv forței reale de așchiere.

Procedînd în acest mod, după cîteva încercări se poate obține dimensiunea de reglaj calculată aprioric.

În cazul în care pe mașina-unealtă respectivă are loc prelucrarea unui lot de piese, reglarea inițială la dimensiune a mașinii

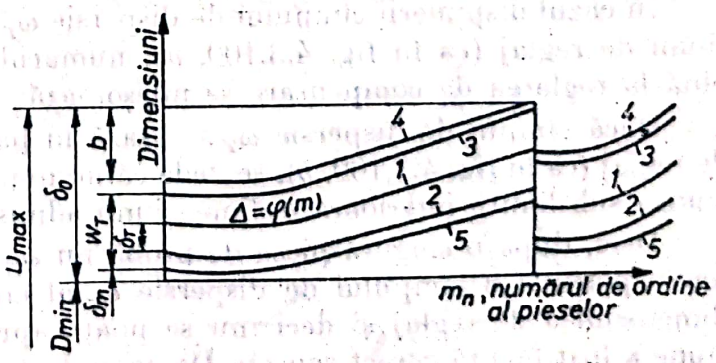


Fig. 4.3.98. Diagrama teoretică pentru studierea preciziei de prelucrare impusă unui lot de piese.

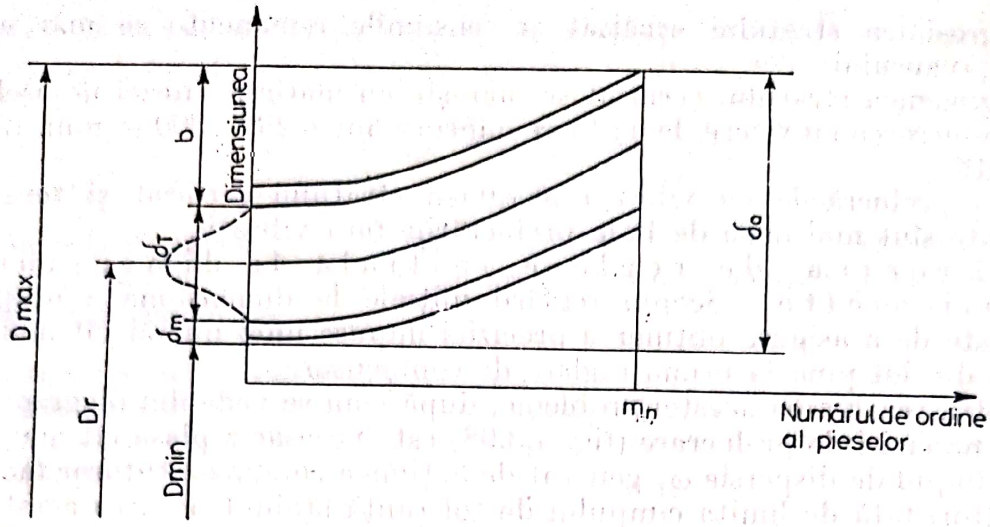


Fig. 4.3.99. Diagrama teoretică pentru calculul dimensiunii de reglaj inițial.

trebuie să se facă la o astfel de dimensiune de reglaj încît numărul de piese cu dimensiuni în limitele cîmpului de toleranță admis să fie cît mai mare, pînă cînd se impune efectuarea unei reglări de compensare la dimensiune.

Din diagrama teoretică a preciziei de prelucrare (fig. 4.3.99) se vede că pentru obținerea dimensiunilor în limitele toleranței impuse δ_0, trebuie ca dimensiunea de reglaj inițial D_r să plece de la dimensiunea minimă, la care se adaugă cîmpul de dispersie al erorilor de măsurare δ_m, plus jumătate din cîmpul de dispersie δ_T al erorilor generate de acțiunea simultană a factorilor întîmplători (dispersie care se supune legii normale de dispersie). În acest caz, după cum se vede și în figura 11.1, dimensiunea de reglaj, D_r va fi:

$$D_r = D_{min} + \delta_m + \frac{\delta_m}{2} = D_{min} + \delta_m + 3\sigma. \qquad (4.3.364)$$

Reglarea inițială la dimensiune nu trebuie să se considere efectuată după prelucrarea primei piese din lot la dimensiunea de reglaj D_r, deoarece nu se poate ști în ce poziție față de dimensiunea de reglaj D_r se va așeza cîmpul de dispersie ω_T al erorilor generat de factorii întîmplători care concură în procesul tehnologic de prelucrare. Acest cîmp de dispersie ω_T poate să se așeze fie de o parte, fie de alta a dimensiunii de reglaj inițial D_r (fig. 4.3.100, *a* și *b*), fie simetric față de aceasta din urmă (4.3.99).

În cazul dispunerii cîmpului de dispersie ω_T în partea superioară a dimensiunii de reglaj (ca în fig. 4.3.100, *a*), numărul de piese care se prelucrează pînă la reglarea de compensare se micșorează.

Dacă cîmpul de dispersie ω_T se așază în partea inferioară a dimensiunii de reglaj (ca în fig. 4.3.100, *b*), se vede că un număr k de piese vor avea dimensiunea sub limita inferioară a dimensiunii admise D_{min} și vor fi rebutate.

Deci, după o singură piesă de probă nu se poate ști nimic despre dispunerea posibilă a cîmpului de dispersie ω_T al erorilor întîmplătoare față de dimensiunea de reglaj și deci, nu se poate aprecia dacă reglarea la dimensiune a fost făcută corect sau nu. De aceea trebuie să se prelucreze la început cu același reglaj un grup de cîteva piese și după dimensiunea medie $D_{med \cdot g}$ a

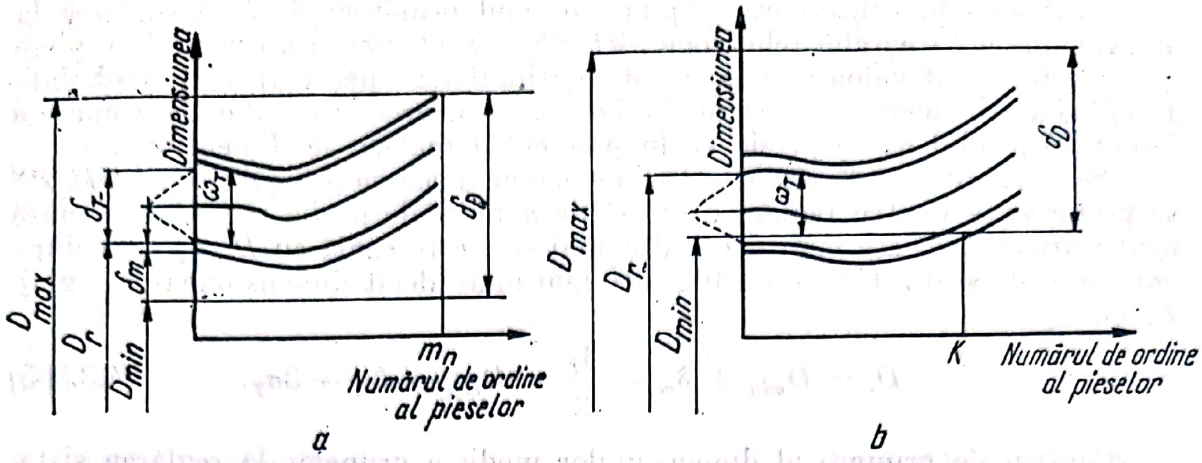


Fig. 4.3.100. Dispunerea impulsului de dispersie a erorilor întîmplătoare de o parte (*a*) și de alta (*b*) a dimensiunii de reglaj.

lor să se vadă direcția dispunerii mijlocului cîmpului de dispersie ω_T al erorilor întîmplătoare. În acest mod se poate aprecia dacă reglarea la dimensiune a fost făcută corect sau nu [3].

Legătura dintre media aritmetică a dimensiunilor pieselor de probă și centrul de grupare al dimensiunilor pieselor în momentul reglării se poate stabili pe baza următoarei premise:

Presupunem că avem un lot de piese, iar curba de dispersie a dimensiunilor acestor piese se supune legii normale de dispersie (curba *1*, fig. 4.3.101) cu abaterea medie pătratică a abaterilor de la dimensiune σ_T. Divizăm acest lot de piese în grupe cu cîte n piese și determinăm pentru fiecare grupă media aritmetică a dimensiunilor pieselor din care este formată.

Dacă se construiește curba de dispersie a dimensiunilor medii a grupelor, se observă că ea se supune legii normale de dispersie (curba *2*, fig. 4.3.101) cu abaterea medie pătratică a abaterilor de la dimensiune $\frac{6\,\sigma_T}{\sqrt{n}}$.

Folosindu-ne de această premisă, putem determina probabilitatea cu media aritmetică a dimensiunilor celor n piese de probă se va abate de la centrul de grupare al dimensiunilor în momentul reglării cu o mărime sau alta. Dimpotrivă, cunoscînd valoarea mediei aritmetice a dimensiunilor pieselor de probă se poate determina posibilitatea abaterii de la valoarea centrului de grupare al dimensiunilor în momentul reglării.

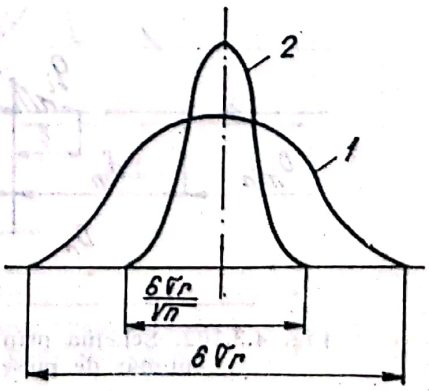


Fig. 4.3.101. Cîmpurile și curbele de dispersie a dimensiunilor lotului de piese și a grupei de n piese pentru reglaj.

Problema în continuare se pune în felul următor: dacă la reglarea la dimensiune a sistemului tehnologic *MUPS* se prelucrează un grup de n piese şi s-a determinat valoarea medie a dimensiunilor grupei, care va fi probabilitatea abaterii acestei valori medii faţă de valoarea centrului de grupare a cîmpului posibil de dispersie ω_T în momentul reglării la dimensiune.

Se presupune că la reglarea la dimensiune a sistemului tehnologic *MUPS* se prelucrează pentru reglare o grupă de n piese de probă şi că dimensiunea medie aritmetică, aşa cum s-a arătat mai sus, este egală cu $D_{med.g}$, care după cum se vede şi din figura 4.3.102 este mai mare decît dimensiunea de reglaj, D_r cu x_i.

$$D_r = D_{min} + \delta_m + \frac{\delta_T}{2} = D_{min} + \delta_m + 3\sigma_T. \qquad (4.3.365)$$

Centrul de grupare al dimensiunilor medii a grupelor la reglarea sistemului *MDPS*, poate să se abată de la dimensiunea medie a grupei de piese $D_{med.g}$, însă nu cu o mărime mai mare de $\pm \frac{3\sigma_T}{\sqrt{n}}$, în concordanţă cu aceea că $\sigma_g = \frac{\sigma_T}{\sqrt{n}}$.

Împărţind segmentul A_rB_r în părţi egale, probabilitatea p_i ca centrul de grupare al dimensiunilor cîmpului de dispersie ω_T posibil să fie în limitele uneia din aceste părţi Δx_i, se caracterizează prin suprafaţa haşurată şi poate fi determinată cu relaţia:

$$p_i = 0{,}5\,\Phi(Z_1) - \Phi(Z_2), \qquad (4.3.366)$$

unde $$Z_1 = \frac{x_i + c + \Delta x_i}{\frac{\sigma_T}{\sqrt{n}}}; \quad Z_2 = \frac{x_i + c}{\frac{\sigma_T}{\sqrt{n}}}.$$

Deplasarea mijlocului cîmpului posibil de dispersie ω_T faţă de dimensiunea de regalj D_r în direcţia micşorării ei, reclamă deplasarea chiar a cîmpului de dispersie posibil ω_T, fapt care are drept consecinţă aceea că dimensiunile unui număr de piese prelucrate din lot pot depăşi limitele $3\delta_T$. Acest lucru duce

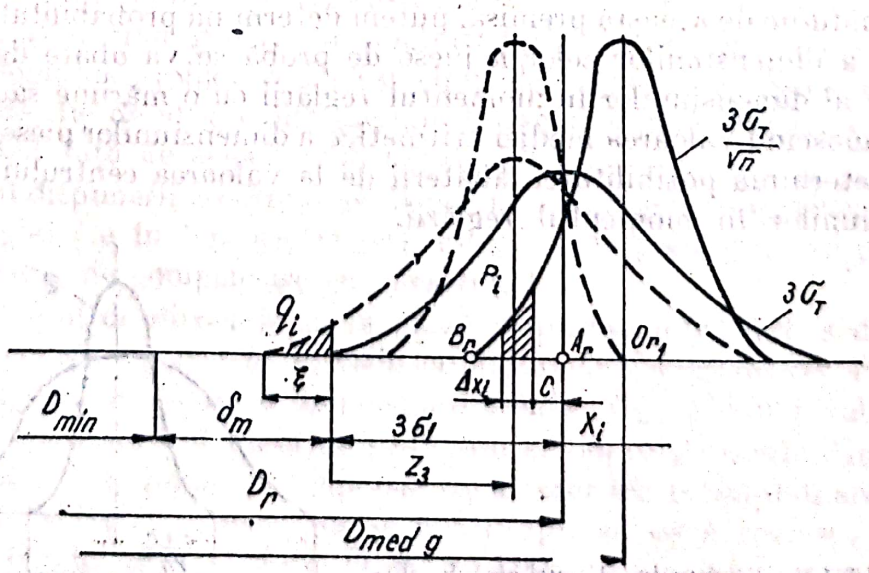


Fig. 4.3.102. Schema prin care se arată posibilitatea ieşirii unui număr de piese în afara limitelor stabilite.

la micșorarea unei părți a cîmpului de toleranță δ_m (cu ξ) lăsat pentru compensarea erorilor dimensiunilor generate de acțiunea factorilor sistematici. Aceste erori pot duce dimensiunile unei părți din piesele lotului dincolo de limita dimensiunii minime D_{min}.

Probabilitatea q_t a depășirii posibile a dimensiunilor limitelor dimensiunii minime sau deviația dimensiunilor sub influența factorilor sistematici cu mărimea δ_m dincolo de dimensiunea limită D_{mtn} se poate determina cu relația:

$$q_t = 0{,}5\,[1 - \Phi(Z_3)], \tag{4.3.367}$$

unde $$Z_3 = \frac{3\sigma_T - c - \frac{\Delta x_t}{2}}{\sigma_T}.$$

Astfel, probabilitatea că dimensiunile pieselor după prelucrare vor fi mai mici decît $D_{min} + \delta_m$ sau D_{min}, pentru că mijlocul cîmpului posibil de dispersie la reglare este deplasat și ajunge în intervalul Δx_t, constituie probabilitatea evenimentului complex.

Dacă la reglare se pleacă de la necesitatea de a obține toate dimensiunile bune (adică de la condiția ca $q_t = 0$), atunci în acest caz valoarea minimă a dimensiunii medii de grup se determină după relația:

$$D_{med\,g}^{min} \geqslant D_{min} + \delta_m + 3\sigma_T + \frac{3\sigma_T}{\sqrt{n}} = D_{min} + \delta_m + 3\sigma_T\left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}}\right), \tag{4.3.368}$$

după cum se vede acest lucru schematic în figura 4.3.103.

Pe baza unui raționament similar se obține că valoarea limitei superioare a dimensiunii medii a grupei este

$$D_{med\,g}^{max} \leqslant D_{max} - b - 3\sigma_T - \frac{3\sigma_T}{\sqrt{n}} = D_{max} - b - 3\sigma_T\left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}}\right), \tag{4.3.369}$$

unde: b este parte din cîmpul de toleranță δ_D a dimensiunii pieselor, prevăzută pentru compensarea erorilor generate de factorii sistematici constanți care iau parte la desfășurarea procesului tehnologic.

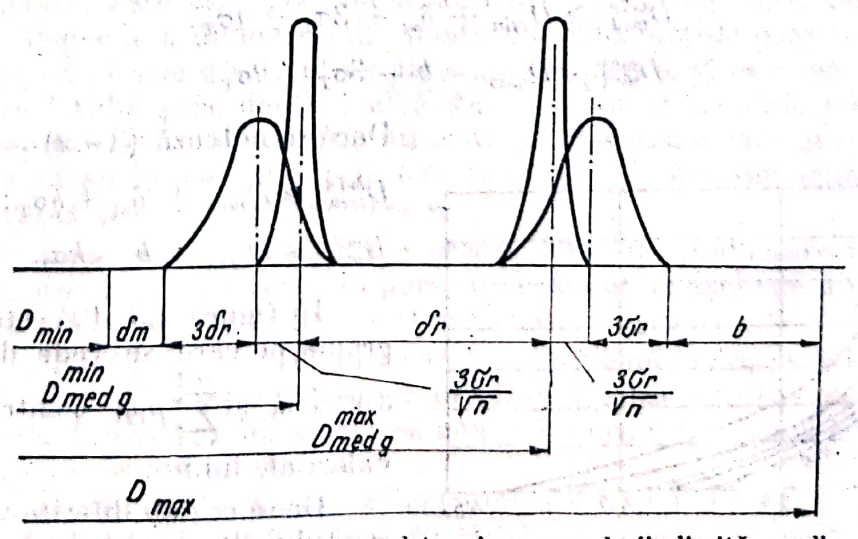


Fig. 4.3.103. Schemă pentru determinarea valorii limită a dimensiunii medii a grupei de piese de reglaj.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se face diferența dintre relațiile (4.3.369) și (4.3.368) se obține cîmpul de toleranță δ_r pentru compensarea erorii de reglare

$$\delta_r = D_{med\ g}^{max} - D_{med\ g}^{min}. \tag{4.3.370}$$

Este ușor de observat că reglarea devine cu atît mai ușor de realizat și cu atît mai economică cu cît toleranța de reglaj δ_r este mai mare. Însă, cu cît este mai mare δ_r cu atît mai mult se micșorează cîmpul b prevăzut pentru compensarea erorilor provocate de factorii sistematici, lucru care duce la necesitatea efectuării reglărilor de compensare mult mai frecvent.

Pentru a ușura efectuarea reglării se pot utiliza calcule de probabilitate pentru stabilirea limitelor dimensiunilor medii a grupei de piese de probă în funcție de procentul de risc admis al pieselor cu dimensiuni în afara limitelor cîmpului de toleranță.

În acest caz justețea reglării poate fi reprezentată sub următoarea formă:

$$\sum_{i=1}^{i=l} p_i q_i \leqslant r, \tag{4.3.371}$$

unde r este o mărime neglijabil de mică, care este cu atît mai mică cu cît este mai mare numărul n de piese de probă în grupă și cu cît este mai mare x_i; l — numărul de segmente egale în care se împarte segmentul O_1B_n (fig. 4.3.102).

Deoarece procentul de risc al depășirii dimensiunii limitelor cîmpului de toleranță este probabilitatea evenimentului complex, r este egal cu produsul probabilităților.

Dacă se notează valoarea cea mai mică a lui x prin care se asigură (pentru numărul dat de piese de probă din grupă) corectitudinea reglării cu procentul de risc admis, egal cu x_{pr}, atunci relațiile (4.3.368) și (4.3.369) capătă forma:

$$D_{med\ g}^{min} \geqslant D_{min} + \delta_m + 3\sigma_T + x_{pr}; \tag{4.3.372}$$

$$D_{med\ g}^{max} \leqslant D_{max} - b - 3\sigma_T - x_{pr}. \tag{4.3.373}$$

Dacă se notează raportul $\frac{x_{pr}}{\sigma_T}$ cu t, introducînd în relația (4.3.372) și (4.3.373) valoarea x_{pr} se obține:

$$D_{med\ g}^{min} \geqslant D_{min} + \delta_m + 3\sigma_T + t\sigma_T; \tag{4.3.374}$$

$$D_{med\ g}^{max} \leqslant D_{max} - b - 3\sigma_T - t\sigma_T. \tag{4.3.375}$$

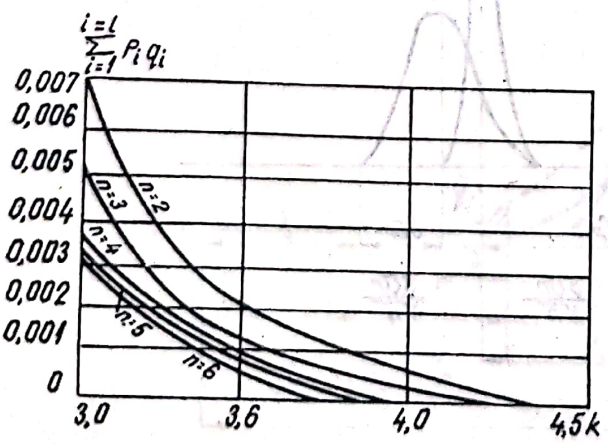


Fig. 4.3.104. Diagramă pentru determinarea valorii lui K.

Dacă se notează $(3+t)=k$, rezultă:

$$D_{med\ g}^{min} \geqslant D_{min} + \delta_m + k\sigma_T; \tag{4.3.376}$$

$$D_{med\ g}^{max} \leqslant D_{max} - b - k\sigma_T. \tag{4.3.377}$$

În figura 4.3. 104 este dată diagrama pe care se vede dependența dintre k și $\sum_{i=1}^{i=l} p_i q_i$ pentru diferite valori ale lui n.

Dacă se dau diferite valori procentului de risc al depășirii limitei cîmpului de toleranță de către di-

mensiunile pieselor (pentru numărul de n piese de probă admis), după grafic se poate determina valoarea lui k, iar cu relațiile (4.3.376) și (4.3.377) valorile limită ale dimensiunilor medii ale grupelor.

Din cele expuse se vede că la reglarea sistemului tehnologic *MUPS* pentru prelucrarea unui lot de piese, utilizînd metodica prezentată, în locul dimensiunii de reglaj D_r, este mai comod a determina două dimensiuni medii limită de grup.

Dacă la reglare dimensiunea medie de grup a primei grupe de piese de probă se află în aceste limite, atunci se poate considera că reglarea a fost corect executată. În caz contrar trebuie să se facă corecția necesară asupra dimensiunii de reglaj static și să se prelucreze o nouă grupă de piese de probă, după care, determinînd valoarea medie aritmetică a dimensiunilor să se vadă dacă aceasta se include în limitele stabilite. Prelucrarea grupelor de probă de piese se repetă introducînd corecțiile necesare la reglare pînă cînd dimensiunea medie de grup se include în limitele stabilite.

Mai ușor și mai repede s-ar putea face reglarea la dimensiune a sistemului tehnologic *MUPS* dacă mașina ar fi prevăzută cu un sistem de control activ al dimensiunilor. În acest caz, cunoscînd valoarea dimensiunii de reglaj și limitele cîmpului de dispersie al erorilor provocate de factorii întîmplători, se poate face reglarea chiar în timpul desfășurării procesului de așchiere.

4.3.7. CALCULUL ERORII TOTALE DE PRELUCRARE

Influența asupra preciziei de prelucrare a factorilor analizați se manifestă în măsura cea mai mare în operațiile de finisare a pieselor (atît cea curentă, cît și cea care urmează).

În studiul preciziei de prelucrare s-a dovedit a fi insuficientă numai analiza statistică sub forma curbelor de distribuție sau diagramele de precizie, fără studiul detaliat al fenomenelor care au loc în lanțul de dimensiuni respectiv sau în sistemul tehnologic MUPS.

Nu este posibil a stabili legi generale de dirijare (de comandă) a preciziei de prelucrare a metalelor prin așchiere numai pe calea observațiilor asupra calității produselor.

Controlul statistic permite în condiții de atelier pe baza pieselor măsurate să constate, care este precizia lotului de piese prelucrate, iar pe baza curbelor de dispersie a dimensiunilor poate indica corecțiile care trebuie realizate pentru ca piesele din lotul de piese care urmează să se execute în condiții similare lotului precedent să aibă dimensiunile în limitele cîmpului de toleranță impus. Controlul statistic nu poate să descopere care anume factori și în ce măsură au influențat precizia de prelucrat și care sînt căile concrete pentru ridicarea preciziei de prelucrare.

Determinarea pe cale analitică a erorii totale de prelucrare funcție de influența tuturor factorilor care iau parte la procesul de așchiere are o importanță foarte mare în tehnologia construcției de mașini.

Numai în felul acesta se pot proiecta procese tehnologice cu o bază științifică solidă, care să asigure obținerea preciziei impuse tuturor pieselor care se prelucrează, numai în felul acesta se poate asigura o disciplină tehnologică severă în atelierele prelucrătoare.

Eroarea totală de prelucrare se calculează în mod diferit în producția de serie mică și individuală și în producția de serie mare și masă, deoarece asupra preciziei de prelucrare în primul caz influențează numai factorii cu

Scanned with OKEN Scanner

caracter sistematic, pe cîtă vreme în cel de-al doilea caz pe lîngă factorii cu caracter sistematic influenţează şi factorii cu caracter întîmplător.

Erorile provocate de factorii cu caracter sistematic se însumează algebric (fiecare cu semnul pe care-l are), iar cele provocate de factorii întîmplători după regula rădăcinii pătrate:

$$\Delta_{in}^{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{HB}^2 + \Delta_a^2 + \Delta_\tau^2 + \Delta_m^2}, \qquad (4.3.378)$$

în care: Δ_{HB} este eroarea datorită variaţiei durităţii materialului; Δ_a — eroarea datorită variaţiei adaosului de prelucrare; Δ_τ — eroarea datorită variaţiei tensiunilor interne; Δ_m — eroarea datorită măsurării dimensiunilor fiecărei piese în parte din lot.

Prin măsurarea algebrică a erorilor provocate de factorii cu caracter sistematic se obţine o sumă de erori notată cu Δ_s^{Σ}.

Eroarea totală de prelucrare a unui lot de piese prelucrate pe o maşină-unealtă reglată la dimensiunea Δ_T se obţine prin însumarea celor două grupe mari de erori însumate Δ_{in}^{Σ} şi Δ_s^{Σ}, adică:

$$\Delta_T = \Delta_{in}^{\Sigma} + \Delta_s^{\Sigma}. \qquad (4.3.379)$$

Deoarece factorii care influenţează asupra preciziei de prelucrare sînt diferiţi la diversele prelucrări prin aşchiere, eroarea totală de prelucrare Δ_T trebuie să se determine separat pentru fiecare tip de prelucrare.

Prelucrarea prin strunjire fiind cea mai răspîndită metodă de prelucrare prin aşchiere, pentru care s-au dedus (anterior) şi relaţiile factorilor ce influenţează precizia de aşchiere, în cele ce urmează se prezintă metoda de calcul a erorii totale de prelucrare a acestui procedeu.

Fie astfel, diametrul pieselor care trebuie obţinut prin strunjire egal cu d, iar diametrul semifabricatelor d_s. Dacă adîncimea de aşchiere este egală cu t, atunci diametrul pieselor va trebui să fie $d = d_s - 2\,t$. Deoarece în timpul desfăşurării procesului de aşchiere acţionează un număr mare de factori, unii care provoacă erori cu caracter sistematic, iar alţii cu caracter întîmplător, diametrul real al pieselor prelucrate va fi:

$$d_r = d_s - 2t \pm \Delta_T. \qquad (4.3.380)$$

Deci, pentru a se afla diametrul real al pieselor vor trebui calculate şi însumate în prealabil valorile erorilor sistematice şi ale celor întîmplătoare, Δ_s^{Σ} respectiv Δ_{in}^{Σ}, care apoi însumate dau eroarea totală de prelucrare.

Astfel, pentru a se calcula valoarea erorii totale produsă prin însumarea erorilor sistematice, adică Δ_s^{Σ}, trebuie să se calculeze; valoarea erorii Δ_{gm} la mersul în gol al maşinii sau a erorilor geometrice ale maşinilor-unelte, după realţiile (4.3.336) şi (4.3.340); valoarea erorii Δ_y produsă de deformaţia elastică a sistemului tehnologic MUPS cu ajutorul relaţiei (4.3.305). Această eroare are semn pozitiv, deoarece datorită deformaţiilor respective, cuţitul aşchiază cu o adîncime de aşchiere mai mică; valoarea Δd_p produsă de deformaţiile termice ale piesei. Această eroare are semnul minus şi se calculează cu relaţia (4.3.232); valoarea Δl_c produsă de deformaţiile termice ale cuţitului, care are semnul minus şi se calculează după relaţiile (4.3.217) sau (4.3.2.17) valoarea f provocată de tensiunile remanente ale piesei de prelucrat care se calculează cu relaţia (4.3.319); valoarea erorii Δu produsă de uzura pe faţa de aşezare a cuţitului (denumită şi uzura radială), care are semnul pozitiv şi se calculează după relaţia (4.3.247).

Cunoscînd valorile erorilor de bază enumerate mai sus se poate calcula prin însumarea lor:

$$\Delta_s^{\Sigma} = \Delta_{g.m} + \Delta_y - \Delta d_p \cdot 2\Delta\, l_c + f + 2\Delta u. \qquad (4.3.381)$$

Scanned with OKEN Scanner

După ce s-a calculat și Δ_{in}^{Σ} cu ajutorul relației (4.3.378) în care termenii respectivi se determină statistic (experimental) pe un lot de probă, se calculează eroarea totală Δ_T cu relația (4.3.379).

Trebuie făcută remarca, că valorile erorilor sistematice, care prin însumare dau eroarea totală sistematică Δ_s^{Σ} nu sînt constante, ci variabile în funcție de lungimea drumului parcurs de cuțit în așchiere. De aceea, diametrul real al piesei d_r, nu are aceeași valoare în toate secțiunile din lungul axei de simetrie a suprafeței prelucrate.

Pentru a se afla diametrul real d_r în diferite secțiuni ale piesei, trebuie să se calculeze valoarea erorilor sistematice componente, după relațiile indicate în secțiunile respective și să se facă însumarea lor, după relația (4.3.380).

Cunoscînd valoarea erorii totale sistematice Δ_s^{Σ} în diverse secțiuni ale piesei, se poate determina eroarea totală Δ_T și diametrul real d_r în aceleași secțiuni.

În mod similar poate fi calculată teoretic și determinată experimental eroarea totală provocată de factorii cu caracter sistematic și întîmplător și la alte tipuri de prelucrări.

4.3.7.1. **Influența erorii totale de prelucrare obținută la strunjirea exterioară, asupra preciziei de prelucrare și calității suprafeței la rectificarea longitudinală exterioară pe mașină reglată la dimensiune** [7]. Așa cum s-a precizat în cele prezentate anterior, de cele mai multe ori în practică este necesar să cunoaștem valoarea admisibilă a erorii totale de prelucrare obținute la strunjire, pentru că aceasta poate conduce la abateri dimensionale și de formă la rectificarea pieselor în operația de rectificare executată pe mașini-unelte reglate la dimensiune.

Avînd în vedere că nu toate mașinile de rectificat sînt echipate cu sisteme de control activ al dimensiunilor se impune a se cunoaște ce influență ar putea avea abaterile obținute anterior (la strunjire) asupra preciziei și calității suprafeței prelucrate prin rectificare longitudinală pe o mașină-unealtă reglată la dimensiune.

Pentru aceasta, s-au efectuat încercări experimentale pe o mașină de rectificat RU-200, utilizînd un disc abraziv tip TYROLIT EnC25K cu granulația 25 și duritatea K, avînd lățimea de 30 mm, folosind o viteză periferică de aproximativ 28 m/s. Piesa supusă prelucrării, din RUL 1 a fost executată conică (pentru a obține o variație a adaosului de prelucrare) cu forma și dimensiunile din figura 4.3.105 și cu duritatea de 63—65 HRC.

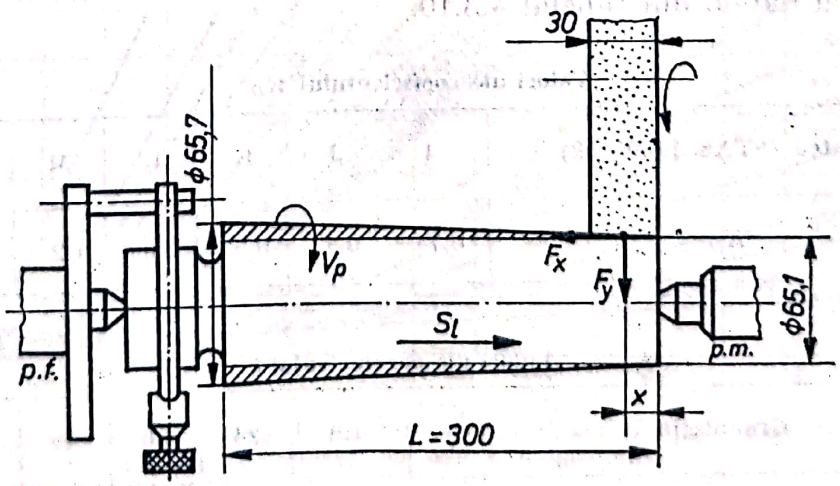


Fig. 4.3.105. Schema de lucru a încercărilor experimentale cu l variabil la rectificarea longitudinală exterioară ($V_p = 30$ m/min; $S_e = 15$ mm/rot).

Scanned with OKEN Scanner

Parametrii măsurați în timpul încercărilor au fost: — variația dimensională în lungul piesei după fiecare trecere și — rugozitatea suprafeței.

Mașina-unealtă a fost reglată să îndepărteze la o trecere adîncimi de așchiere variind în domeniul $t = 0—0{,}3$ mm. S-a adoptat un domeniu de variație mare pentru a scoate în evidență și influența deformațiilor elastice ale sistemului tehnologic al mașinii (piesa avînd o rigiditate ridicată, deformațiile elastice ale acesteia sînt neglijabile) alături de uzura discului, asupra preciziei și calității suprafeței prelucrate.

Variația erorii de prelucrare în lungul piesei se prezintă ca în figura 4.3.106, iar rugozitatea suprafeței prelucrate a variat la prima trecere între $R_a = 1—12{,}5$ μm, iar la următoarele treceri, aceasta s-a înrăutățit treptat spre păpușa mobilă, datorită îmbîcsirii discului, astfel că după ultima reascuțire (vezi fig. 4.3.106) s-a ajuns la aproximativ $R_a = 1{,}5 — 1{,}7$ μm.

Dacă se are în vedere că la rectificarea cilindrică exterioară, principalii factori care afectează precizia de prelucrare sînt: uzura discului abraziv notată u_d și deformația elastică a sistemului tehnologic MUPS, notată Δy_r, atunci condiția asigurării preciziei de prelucrare pe o mașină de rectificat (fără sistem de control activ) reglată inițial la dimensiune este:

$$u_d + \Delta y_r + \omega_r \leqslant \delta_p, \tag{4.3.382}$$

în care ω_r este cîmpul de dispersie al dimensiunilor piesei rectificate determinat de factorii ce nu depind de regimul de așchiere (obținut în general experimental), iar δ_p este toleranța impusă piesei la operația de rectificare.

Cunoscînd că parametrul u_d este dat de următoarea relație:

$$u_D = \frac{3 \cdot 10^6 W}{10{,}6463\ D \cdot l}\left[99 v_p^{2/7} v_d^{5/7}\left(\frac{D+d}{D \cdot d}\right)^{1/7} s_{tr}^{3/7} - K_D v_d^2 v_p^{-0.5} s_t^{1,7}\right], \tag{4.3.383}$$

în care: u_d reprezintă uzura dimensională a discului abraziv în direcție radială, în mm/min; W — volumul mediu al particulelor abrazive, îndepărtate din disc, în μm^3 (pentru discuri ceramice cu duritatea cuprinsă între K — N, $W \cong 3{,}1^5$ μm^3); v_d — viteza periferică a discului abraziv, în m/s; v_p — viteza periferică a piesei, în m/min; D — diametrul discului abraziv, în mm; d — diametrul piesei ce se prelucrează, în mm; s_{tr} — avansul transversal la fiecare cursă, în mm; K_D — coeficient ce depinde de gradul de duritate a discului, ale cărui valori sînt date în tabelul 4.3.9; l — distanța medie între vîrfurile granulelor abrazive, în mm, care depinde de granulația discului, în conformitate cu datele din tabelul 4.3.10.

Tabelul 4.3.9

Valori ale coeficientului K_D

Duritatea (STAS 1469—68)	I	J	K	L	M	N	O
K_D	0,74	0,82	0,9	1,09	1,2	1,32	1,6

Tabelul 4.3.10

Valori ale parametrului l

Granulația	1,6	24	36	46	60	80
l	1,94	1,15	0,82	0,58	0,41	0,29

Scanned with OKEN Scanner

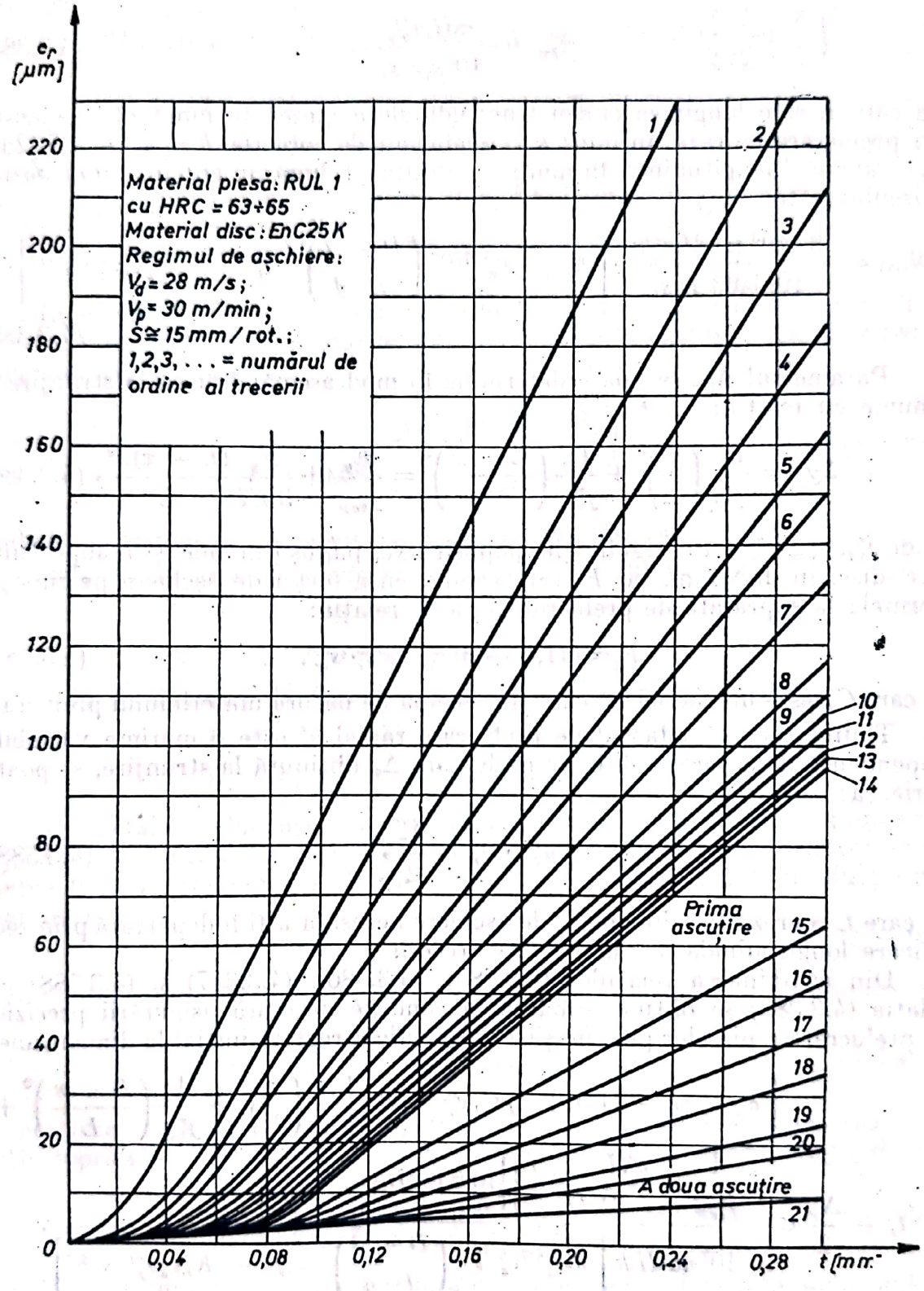


Fig. 4.3.106. Influența adîncimii de așchiere asupra erorii de prelucrare e_r, la rectificarea exterioară cu avans longitudinal.

Scanned with OKEN Scanner

Considerînd o variație aproximativ liniară a uzurii discului în raport cu timpul de prelucrare, și avînd în vedere relația timpului de bază la rectificarea cilindrică exterioară cu avans longitudinal τ^r_{bm} sub forma:

$$\tau^r_{bm} = \frac{\pi d L a^r_b k}{10^3 s_l v_p s_t}, \tag{4.3.384}$$

în care L este lungimea cursei longitudinale a mesei, în mm; a^r_b — adaosul de prelucrare pe rază, în mm; k — coeficient de corecție, $k = 1{,}1 - 1{,}7$ [25]; s_l — avansul longitudinal, în mm/rot, rezultă că după un anumit timp, uzura discului este:

$$u_{r(\tau)} = \frac{3 \cdot 10^3 \pi w d L a^r_b k}{10{,}6463\, D l s_l} \cdot \left[99 v_p^{-5/7} v_d^{5/7} l^{2/7} \left(\frac{D+d}{D \cdot d} \right)^{1/7} s_l^{-4/7} - K_D v_d^2 v_p^{-1{,}5} s_t^{-6/7} \right]. \tag{4.3.385}$$

Parametrul Δy_r se poate determina în mod asemănător ca la strunjire și anume cu relația:

$$\Delta y_r = \frac{F_y}{j^r_{pf}} \left(\frac{x}{L} \right)^2 + \frac{F_y}{j^r_{pm}} \left(\frac{L-x}{L} \right)^2 = \frac{F_y}{j^r_{sup}} + \frac{F_y}{3EI} \frac{(L-x)x^2}{L}, \tag{4.3.386}$$

unde j^r_{pf}, j^r_{pm}, j^r_{sup} sînt rigiditățile păpușii fixe, păpușii mobile și a suportului port-disc, în daN/mm, iar F_y este componenta forței de așchiere pe direcția normală la suprafața de prelucrat, dată de relația:

$$F_y = (1{,}5 \div 3)\, C_F v_p^{0{,}7} s_l^{0{,}7} s_{tr}^{0{,}6}, \tag{4.3.387}$$

în care C_F este un coeficient care ține seama de natura materialului prelucrat.

Ținînd cont că adaosul de prelucrare radial h' este o mărime variabilă dependentă de eroarea totală de prelucrare Δ_T obținută la strunjire, se poate scrie că:

$$a^r_b = t_r + \frac{\Delta_T}{2}, \tag{4.3.388}$$

în care t_r reprezintă adîncimea de așchiere necesară a fi îndepărtată prin rectificare longitudinală din mai multe treceri.

Din combinarea relațiilor (4.3.385), (4.3.386), (4.3.387) și (4.3.388) cu relația (4.3.382) se obține următoarea condiție necesară asigurării preciziei de prelucrare a pieselor pe o mașină de rectificat reglată inițial la dimensiune:

$$t_r + \frac{\Delta_T}{2} \leqslant \frac{\left\{ \delta_p - \omega_r - (1{,}5 \div 3)\, C_F v_p^{0{,}7} s_l^{0{,}7} s_t^{0{,}6} \left[\frac{1}{j^n_{pf}} \left(\frac{x}{L} \right)^2 + \frac{1}{j^r_{pm}} \left(\frac{L-x}{L} \right)^2 + \frac{1}{j^r_{sup}} + \frac{x^2(L-x)}{3EIL} \right] \right\} 10{,}6463\, D l s_l}{3 \cdot 10^3 \pi w d L k \left[99 v_p^{-5/7} v_d^{5/7} l^{2/7} \left(\frac{D+d}{D \cdot d} \right)^{1/7} s_{tr}^{-4/7} - K_D v_d^2 v_p^{-1{,}5} s_t^{-6/7} \right]}, \tag{4.3.389}$$

de unde rezultă că eroarea Δ_T admisă la operația de strunjire exterioară pentru asigurarea preciziei de prelucrare la rectificarea cilindrică exterioară cu avans

Scanned with OKEN Scanner

longitudinal (fără a se folosi reglări de compensare pînă la o nouă reascuțire a discului abraziv) trebuie să îndeplinească următoarea condiție:

$$\Delta_T \leqslant \frac{21{,}2926\, D \cdot l \cdot s_l \left\{ \delta_p - w_r - (1{,}5 \div 3)\, C_F v_p^{0,7} s_l^{0,7} s_t^{0,6} \left[\frac{1}{j_{vf}^r} \left(\frac{x}{L} \right)^2 + \right. \right.}{\left. \left. + \frac{1}{j_{vm}^r} \left(\frac{L-x}{L} \right)^2 + \frac{1}{j_{sup}^r} + \frac{x^2(L-x)}{3EIL} \right] \right\}} - 2t_r$$
$$3 \cdot 10^3 \pi w d L k \left[99 v_p^{-5/7} v_a^{5/7} l^{2/7} \left(\frac{D+d}{D \cdot d} \right)^{1/7} s_t^{-4/7} - K_D v_a^2 v_p^{-1,5} s_t^{-6/7} \right] \tag{4.3.390}$$

În privința asigurării calității suprafeței prelucrate la rectificarea cilindrică exterioară cu avans longitudinal, pornind de la relația de calcul a parametrului R_z sub forma:

$$R_z = 0{,}689 \frac{\beta^{0,27} v_p^{0,212} \left(t_r + \frac{\Delta_T}{2} \right)^{0,148}}{n^{0,217}}, \tag{4.3.391}$$

unde β reprezintă un coeficient de avans; pentru β se recomandă:

— la rectificarea de degroșare pentru diametrul piesei:

$d \leqslant 20$ mm, $\beta = 0{,}5$;

$d > 20$ mm, $\beta = 0{,}63 \ldots 0{,}8$;

— la rectificarea de finisare pentru rugozitatea suprafeței:

$R_a = 2{,}5 \ldots 1{,}25$ μm; $\beta = 0{,}5 \ldots 0{,}75$;

$R_a = 0{,}63$ μm; $\beta = 0{,}25 \ldots 0{,}50$.

Alte detalii suplimentare în legătură cu coeficientul β se găsesc în lucrarea [7]; n — numărul de treceri, și ținînd cont de relația de legătură între parametrii R_z și R_a (parametrul de rugozitate folosit în practica de producție cel mai des):

$$R_z = 4{,}4668 - R_a^{0,97}, \tag{4.3.392}$$

rezultă din combinarea relațiilor (4.3.391) și (4.3.392) condiția următoare:

$$t_r + \frac{\Delta_T}{2} \leqslant \sqrt[0,1525]{\frac{R_a n^{0,2237}}{0{,}1458 \cdot \beta^{0,2783} v_p^{0,2185}}}, \tag{4.3.493}$$

respectiv eroarea Δ_T admisă la operația de strunjire pentru asigurarea calității suprafeței la rectificarea cilindrică exterioară cu avans longitudinal:

$$\Delta_T \leqslant 2 \left(\sqrt[0,1525]{\frac{R_a n^{0,2237}}{0{,}1458\ \beta^{0,2783} v_p^{0,2185}}} - t_r \right). \tag{4.3.494}$$

Desigur din cele prezentate rezultă următoarele concluzii mai importante:

— atît precizia de prelucrare cît și calitatea suprafeței prelucrate prin rectificare cu avans longitudinal sînt influențate de eroarea de prelucrare de la operația anterioară;

— pe măsură ce adîncimea de așchiere pentru operația de rectificare longitudinală crește (ca urmare a erorii anterioare Δ_T), are loc o scădere a produc-

tivității prin mărirea numărului de treceri, calitatea suprafeței se înrăutățește datorită îmbîcsirii discului, precizia de prelucrare scade, datorită uzurii mai intense a discului abraziv și eventual din cauza deformațiilor elastice ale sistemului tehnologic.

4.3.8. CALCULUL MĂRIMII ABATERILOR MICROGEOMETRICE DE CALITATE ALE SUPRAFEȚEI PRELUCRATE

4.3.8.1. Factorii care influențează asupra mărimii abaterilor microgeometrice ale piesei prelucrate. Asupra calității prelucrate prin așchiere, respectiv asupra abaterilor microgeometrice ale suprafeței, influențează o serie de factori dintre care cei mai importanți sînt următorii: geometria părții așchietoare a sculei; calitatea muchiei așchietoare; regimul de așchiere (v, t, s); calitatea materialului din care este confecționată piesa ce se prelucrează; rigiditatea sistemului tehnologic mașină-unealtă-piesă-sculă; lichidul de răcire și ungere.

În cele ce urmează se tratează pe scurt influența fiecărui factor tehnologic enumerat.

4.3.8.1.1. *Influența geometriei părții așchietoare a sculei asupra mărimii abaterilor microgeometrice ale suprafeței prelucrate.* Dintre parametrii geometrici ai părții așchietoare a sculei influența cea mai mare asupra mărimii rugozității sau a abaterilor microgeometrice ale suprafeței prelucrate o are raza de la vîrful muchiei așchietoare a sculei. În urma prelucrării pe suprafața prelucrată rămîne profilul vîrfului sculei așchietoare. Astfel în urma strunjirii cu un cuțit a cărui rază la vîrf este $r = 0$, forma suprafeței prelucrate (dacă se face o secțiune longitudinală prin piesa prelucrată) este asemănătoare unei suprafețe filetate. Înălțimea microasperității în acest caz este funcție de mărimea avansului de lucru și de mărimea unghiurilor $\varkappa$ și $\varkappa_1$ după cum se vede în figura 4.3.107.

Din figura 4.3.107 se vede că:

$$\overline{AN} = \overline{CN} \operatorname{ctg} \varkappa_1 = H \operatorname{ctg} \varkappa_1; \qquad (4.3.395)$$

$$\overline{NB} = \overline{CN} \operatorname{ctg} \varkappa = H \operatorname{ctg} \varkappa. \qquad (4.3.396)$$

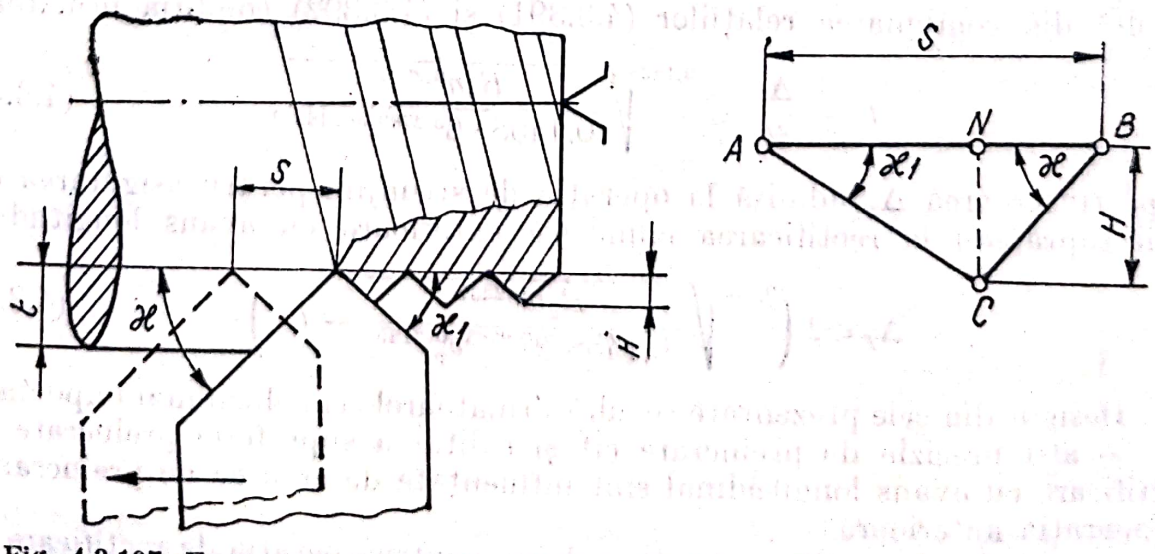


Fig. 4.3.107. Forma urmelor rămase pe suprafața piesei după strunjirea cu un cuțit fără rază la vîrf.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se adună expresiile (4.3.395) și (4.3.396) se obține

$$\overline{AN} + \overline{NB} = H(\operatorname{ctg} \varkappa_1 + \operatorname{ctg} \varkappa) = H \frac{\sin(\varkappa + \varkappa_1)}{\sin \varkappa_1 \sin \varkappa}, \qquad (4.3.397)$$

de unde rezultă că înălțimea asperităților este:

$$H = \frac{S \sin \varkappa_1 \sin \varkappa}{\sin(\varkappa_1 + \varkappa)}. \qquad (4.3.398)$$

Din relația (4.3.398) se vede că înălțimea microasperităților crește cu creșterea avansului și a unghiului $\varkappa$ și $\varkappa_1$. Dacă strunjirea se face cu un cuțit cu o rază r la vîrf, profilul microasperităților este diferit de cel din cazul precedent, așa după cum se vede din figura 4.3.108.

Înălțimea microasperităților în acest caz se determină foarte simplu în felul următor:

$$H = \overline{OB} - \overline{ON} = r - \overline{ON}. \qquad (4.3.399)$$

Din triunghiul OAN se vede că:

$$\overline{ON} = \sqrt{\overline{OA}^2 - \overline{AN}^2} = \sqrt{r^2 - \left(\frac{S}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{4r^2 - S^2}}{2}. \qquad (4.3.400)$$

Dacă se introduce valoarea lui ON în relația (4.3.399) rezultă că înălțimea microasperităților H este egală cu:

$$H = r - \overline{ON} = r - \frac{\sqrt{4r^2 - S^2}}{2}. \qquad (4.3.401)$$

Din relația (4.3.401) rezultă că înălțimea H scade cu creșterea razei r de la vîrful cuțitului la lucru cu același avans sau cu micșorarea avansului la aceeași rază r a cuțitului.

La strunjirea cu cuțite late (cu muchia aschietoare paralelă cu suprafața piesei ce se prelucrează) cu $\lambda = 0$ calitatea suprafeței depinde într-o foarte mare măsură de modul cum a fost fixat cuțitul în suportul port-cuțit față de direcția avansului longitudinal. Dacă muchia cuțitului nu este perfect

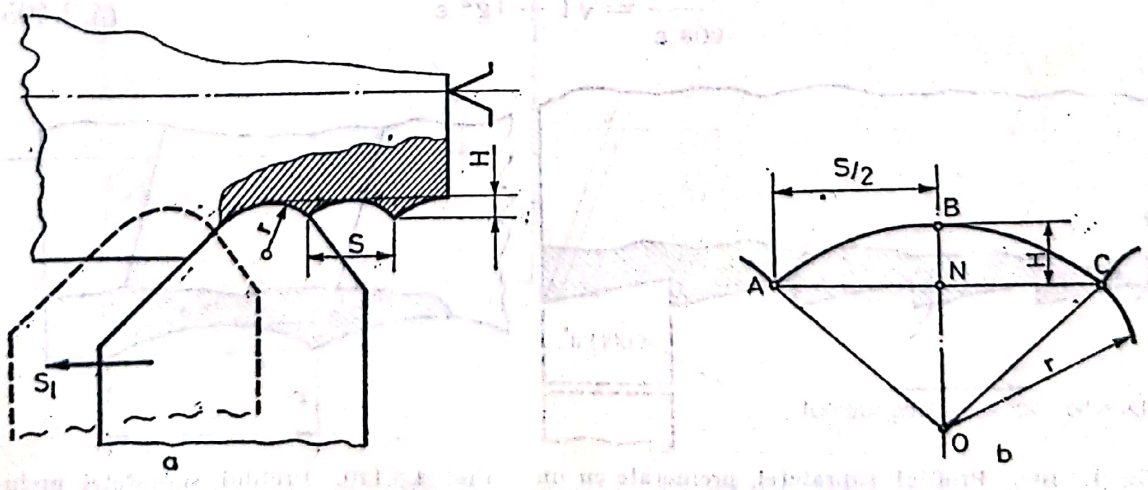


Fig. 4.3.108. Forma urmelor rămase pe suprafața piesei după strunjirea cu un cuțit cu o rază la vîrf egală cu r.

paralelă cu direcția avansului longitudinal, atunci profilul suprafeței piesei prelucrate, în secțiune longitudinală, este în formă de ferăstrău, așa după cum se vede în figura 4.3.109.

Deci, una din cele mai dificile probleme la prelucrarea cu cuțite late, de care depinde calitatea suprafeței prelucrate, este aceea a fixării cuțitului în poziția corectă față de direcția avansului longitudinal.

La prelucrarea cu cuțite late LPI (Leningradschi Politehniceschi Institut) construite în catedra *prof. Socolovschi*, a căror muchie așchietoare este înclinată cu un unghi λ față de planul orizontal, care trece prin axa de simetrie a piesei ce se prelucrează, se poate obține o calitate a suprafeței prelucrate cuprinsă între $R_a = 1{,}6 - 0{,}8$ μm.

Profilul în secțiune longitudinală a suprafeței prelucrate cu un astfel de cuțit este în formă de albioare, așa cum se vede în figura 4.3.110.

Calitatea suprafeței prelucrate cu cuțite late LPI depinde de înălțimea H a microasperităților care se determină în felul următor (v. fig. 4.3.111):

$$m = \frac{S}{2} \operatorname{tg} \lambda. \tag{4.3.402}$$

Înălțimea H a asperităților este:

$$H = \overline{OC} - \overline{ON} = \overline{ON} - \overline{OM}. \tag{4.3.403}$$

Din triunghiul dreptunghic ONM (fig. 4.3.111) se vede că:

$$\overline{ON} = \frac{\overline{OM}}{\cos \varepsilon}, \tag{4.3.404}$$

deci:

$$H = \frac{\overline{OM}}{\cos \varepsilon} - \overline{OM} = \overline{OM}\left(\frac{1}{\cos \varepsilon} - 1\right) \approx R\left(\frac{1}{\cos \varepsilon} - 1\right). \tag{4.3.404'}$$

Întrucît diferența dintre OC și OM este foarte mică, se poate considera: $R = \frac{D}{2}$. Se știe că:

$$\frac{1}{\cos \varepsilon} = \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varepsilon} \tag{4.3.405}$$

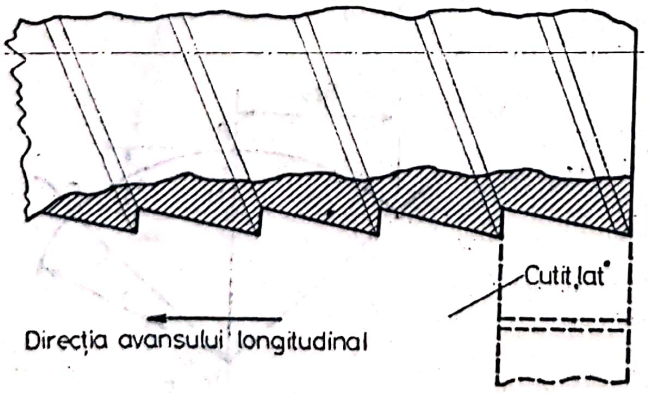


Fig. 4.3.109. Profilul suprafeței prelucrate cu un cuțit lat fixat incorect față de direcția avansului longitudinal.

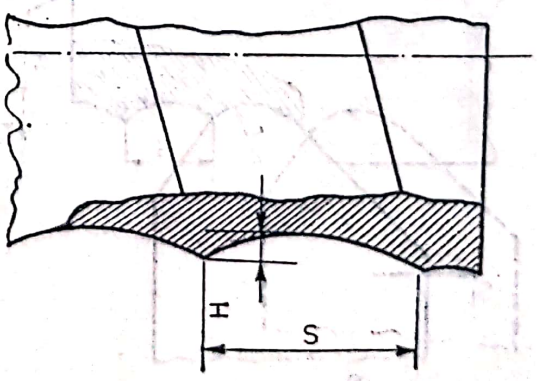


Fig. 4.3.110. Profilul suprafeței prelucrate cu un cuțit lat *LPI*.

Scanned with OKEN Scanner

De asemenea, din figura 4.3.111 se vede că:

$$\operatorname{tg}\varepsilon = \frac{\overline{MN}}{\overline{OM}} = \frac{\overline{MN}}{R} = \frac{m}{R}, \tag{4.3.406}$$

deci

$$\frac{1}{\cos\varepsilon} = \sqrt{1+\left(\frac{m}{R}\right)^2}\,. \tag{4.3.407}$$

Dacă se dezvoltă în serie radicalul din relația (4.3.407) și se iau numai primii 2 termeni ai seriei, atunci relația (4.3.407) devine:

$$\frac{1}{\cos\varepsilon} = 1 + \frac{1}{2}\left(\frac{m}{R}\right)^2. \tag{4.3.408}$$

Introducîndu-se valorile lui $\frac{1}{\cos\varepsilon}$ din (4.3.408) în relația (4.3.404') se obține:

$$H = R\left[1+\frac{1}{2}\left(\frac{m}{R}\right)^2 - 1\right] = \frac{m^2}{D}.$$

Cunoscînd că $m = \frac{s}{2}\operatorname{tg}\lambda$, rezultă în final:

$$H = \frac{s^2\operatorname{tg}^2\lambda}{4D}. \tag{4.3.409}$$

Se vede deci că H crește foarte repede cu creșterea avansului s și a unghiului λ și scade cu creșterea diametrului.

În [86] s-a demonstrat experimental că dependența calității suprafeței la strunjirea cu cuțite late LPI funcție de avans și unghiul λ este însă foarte

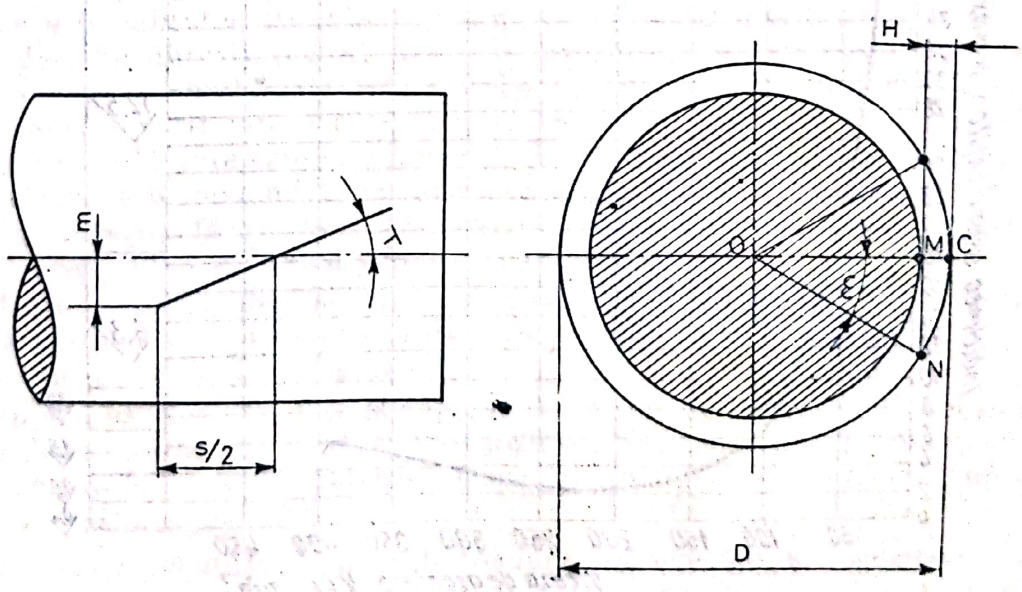


Fig. 4.3.111. Schema strunjirii cu cuțit LPI pentru determinarea adîncimii H a urmei rămase pe suprafața piesei.

mică în raport cu dependența acesteia de viteza de așchiere, lucru ce se vede foarte bine în diagrama din figura 4.3.112.

În general, la strunjirea cu cuțite late LPI calitatea suprafeței este cuprinsă între $R_a = 1{,}6 - 0{,}8$ μm, atunci cînd prelucrarea se face cu $v = 100 - 300$ m/min, $s = 1 \sim 3$ mm/rot., $t = 0{,}1$ mm, iar geometria cuțitului egală cu $\gamma = 0°$, $\lambda = 15°$ și $\alpha = 12°$.

Influența avansului și a adîncimii de așchiere asupra calității suprafeței este foarte mică. De exemplu: dacă avansul variază de la $s = 1 - 10$ mm/rot, H_{max} variază de la 3—5 μm; dacă adîncimea de așchiere variază de la 0,1—0,5 mm, H_{max} variază de la 5—3 μm.

O variantă a prelucrării cu cuțite late este prelucrarea cu cuțite *Colesov*. Prelucrarea cu astfel de cuțite se numește *prelucrarea intensivă*. Rugozitatea suprafeței obținută în urma strunjirii intensive are valoarea $R_a = 1{,}6$—0,8 μm. Regimul de lucru folosit este în general următorul: $v = 60 \ldots 150$ m/min, $s = 1{,}5 \ldots 5$ mm/rot. și $t = 1{,}5 \ldots 3$ mm.

4.3.8.1.2. *Influența calității muchiei așchietoare asupra mărimii abaterilor microgeometrice și a rugozității suprafeței.* Calitatea muchiei așchietoare a sculei se reflectă în mod direct asupra calității suprafeței prelucrate a piesei. Toate microneregularitățile muchiei așchietoare se copiază întocmai pe suprafața prelucrată. Acest lucru se observă mai ales la prelucrarea cu cuțite late a suprafețelor cilindrice cu avans longitudinal, la prelucrarea cu cuțite profilate a suprafețelor de revoluție cu avans transversal (de ex. la strunjirea frezelor profilate pe strungurile de detalonat etc.). la prelucrarea alezajelor cu alezoare sau broșe. De asemenea și tocirea muchiilor așchietoare ale sculelor se reflectă în mod nefavorabil asupra calității suprafeței prelucrate. De aceea, în momentul cînd muchiile așchietoare ale sculelor încep să se tocească, se

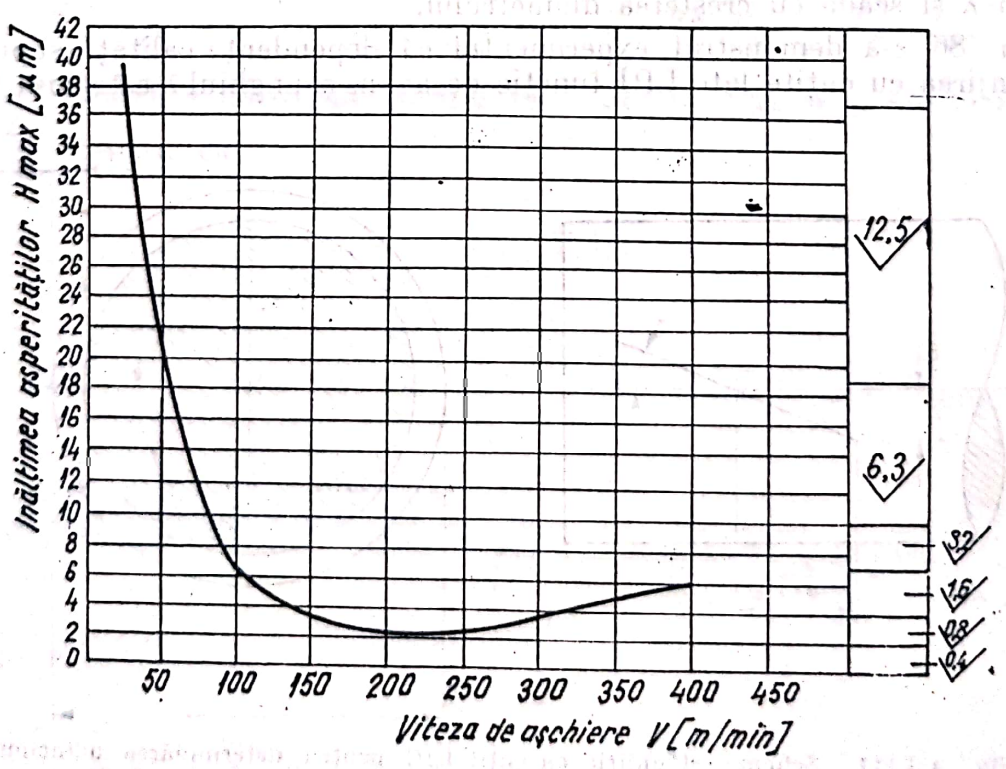


Fig. 4.3.112. Variația calității suprafeței funcție de viteza de așchiere.

Scanned with OKEN Scanner

recomandă reascuțirea lor, iar pentru îmbunătățirea calității muchiilor așchietoare se recomandă lepuirea acestora, lucru care duce și la mărirea durabilității lor.

4.3.8.1.3. *Influența regimului de așchiere* (v, t, s) *asupra mărimii abaterilor microgeometrice și a rugozității suprafeței.* În paragraful 12.1.1 s-a văzut în mare măsură influența vitezei de așchiere și a avansului asupra calității suprafețelor prelucrate. În cele ce urmează se mai dau unele completări în legătură cu influența vitezei și adîncimii de așchiere.

Calitatea suprafeței prelucrate se înrăutățește atunci cînd prelucrarea se face cu astfel de viteze de așchiere care favorizează formarea depunerilor pe tăiș sau formarea tăișurilor de adaos (vezi cursul de Teoria așchierii și proiectarea sculelor). La prelucrarea cu astfel de viteze de așchiere (cuprinse între 15—25 m/min) înălțimea microasperităților atinge valorile maxime. Cu creșterea vitezei de așchiere (menținîndu-se ceilalți factori ai regimului de așchiere constanți) calitatea suprafeței se îmbunătățește, ajungînd la o valoare constantă după o creștere a vitezei de așchiere mai mare de 100—150 m/min. Prelucrarea prin strunjire cu astfel de viteze de așchiere, în plus înlătură și pericolul apariției vibrațiilor care contribuie într-o măsură foarte mare la înrăutățirea calității suprafeței prelucrate.

Calitatea suprafeței se înrăutățește la: burghierea cu viteze de așchiere cuprinse între 15—25 m/min și la zencuirea cu viteze de așchiere cuprinse între 20—35 m/min. O calitate bună a suprafeței se obține la alezarea cu viteze de așchiere de 4—5 m/min.

Pe baza datelor obținute experimental s-a constatat că adîncimea de așchiere influențează foarte puțin asupra calității suprafeței prelucrate (experiențele s-au făcut cu adîncimi de așchiere cuprinse între 0,5... 5 mm).

S-a dovedit de asemenea experimental că prelucrarea cu adîncimi de așchiere mai mici decît avansul influențează în mod negativ asupra calității suprafeței prelucrate.

La prelucrarea prin rectificare cea mai mare influență asupra calității suprafeței o au: granulația discului abraziv (cu cît granulația este mai fină cu atît calitatea suprafeței prelucrate va fi mai bună); viteza de așchiere a discului abraziv (cu cît viteza de așchiere este mai mare, cu atît calitatea suprafeței prelucrate este mai bună); viteza periferică a piesei ce se prelucrează (cu cît viteza periferică a piesei este mai mică, cu atît calitatea suprafeței prelucrate este mai bună); adîncimea de așchiere (cu cît adîncimea de așchiere este mai mică, cu atît calitatea suprafeței prelucrate este mai bună); trecerile fără avans transversal (după ultimul avans transversal, 2—3 treceri ridică calitatea suprafeței prelucrate).

Între precizia dimensională și rugozitatea suprafeței care se prelucrează există o interdependență de care trebuie să țină seama atît inginerul proiectant cît și inginerul tehnolog.

Inginerul proiectant indică pe desenul piesei toleranța dimensiunii și rugozitatea suprafeței. Valoarea rugozității este indicată în normative de stat funcție de clasa de precizie, respectiv toleranța dimensiunii suprafeței care se prelucrează.

Inginerul tehnolog, funcție de toleranța dimensiunii și rugozitatea suprafeței impuse pe desenul de execuție, trebuie să stabilească procedeul de prelucrare și regimul de așchiere corespunzător.

Scanned with OKEN Scanner

Un parametru al regimului de aşchiere care influenţează într-o măsură mare asupra rugozităţii şi toleranţei dimensiunii suprafeţei care se prelucrează este viteza de aşchiere. După [70] relaţia vitezei de aşchiere, care poate asigura obţinerea rugozităţii şi toleranţei impuse este:

$$v = \frac{C_v}{s^{x_v} R_z^{y_v}} K_v, \qquad (4.3.410)$$

în care C_v reprezintă un coeficient a cărui valoare este funcţie de condiţiile de aşchiere; K_v — un coeficient a cărei valoare variază o dată cu variaţia vitezei de aşchiere; x_v şi y_v — exponenţi egali cu 1,19 respectiv 1,15.

În tabelul 4.3.11 sînt date valorile coeficienţilor respectivi funcţie de diametrul suprafeţei care se prelucrează prin strunjirea unui arbore din OL 60 cu un cuţit cu plăcuţe T15K6, cu $\alpha = 10°$, $\gamma = 2°$, $\varkappa = 45°$, $\varkappa_1 = 5°$, $r = 1$ mm şi regimul de aşchiere $t = 0{,}3$ mm, $s = 0{,}18$ mm/rot.

Tabelul 4.3.11

Valorile coeficienţilor K_v şi C_v funcţie de diametrul suprafeţei care se prelucrează

v, m/mm	∅, mm	K_v	C_v	∅	K_v	C_v	∅, mm	K_v	C_v	∅, mm	K_v	C_v	∅, mm	K_v	C_v
30		1			1			1			1			1	
60	30	1,86	$1{,}19 \cdot 10^5$	55	1,78	$2{,}03 \cdot 10^5$	75	1,74	$2{,}34 \cdot 10^5$	90	1,87	$2{,}5 \cdot 10^5$	100	1,76	$2{,}83 \cdot 10^5$
95		2,57			2,53			2,43			2,57			2,54	
150		3,53			3,72			3,45			3,6			3,75	
240		—			4,88			5,27			4,85			4,33	

Relaţia vitezei de aşchiere are valabilitate generală pentru orice gen de prelucrare pentru care trebuie în prealabil determinate valorile coeficienţilor şi exponenţilor respectivi.

4.3.8.1.4. *Influenţa lichidelor de răcire-ungere asupra mărimii abaterilor microgeometrice şi a rugozităţii suprafeţei prelucrate.* La prelucrarea prin aşchiere a metalelor lichidul de răcire absoarbe căldura degajată în zona de aşchiere, împiedicînd în acelaşi timp formarea depunerilor pe tăişul sculei şi ajutînd la ridicarea calităţii suprafeţei prelucrate, unge suprafeţele în frecare, micşorînd astfel coeficientul de frecare exterioară, lucru care conduce la mărirea durabilităţii muchiilor aşchietoare, ajută la procesul de degajare a aşchiilor.

Prin studiile academicianului *P. A. Rebinder* s-a stabilit influenţa mare a lichidelor de răcire şi ungere la procesul de formare a microasperităţilor.

Substanţele absorbante din lichidul de răcire-ungere pătrund prin microfisurile formate în zona de deformaţie a metalului şi uşurează curgerea plastică a acestuia sub formă de aşchii. De asemenea, aceste lichide formează un film de ulei foarte fin pe faţa de degajare şi aşezare a sculei şi împiedică astfel producerea unei frecări uscate între aşchie şi faţa de dega-

Scanned with OKEN Scanner

jare a sculei și între fața de așezare a acesteia și suprafața ce se prelucrează a piesei.

Calitatea suprafeței se poate îmbunătăți foarte mult, folosind lichide de răcire-ungere care au în componența lor ulei mineral, compuși activi sulfuroși, soluții de săpun, săruri alcaline etc.

4.3.8.1.5. *Influența rigidității sistemului tehnologic elastic MUPS asupra mărimii abaterilor microgeometrice și a rugozității suprafeței prelucrate.* În afară de factorii enumerați mai sus, o influență mare asupra calității suprafeței prelucrate o are rigiditatea sistemului tehnologic elastic mașină-unealtă-piesă-sculă. Cu micșorarea rigidității sistemului tehnologic se înrăutățește calitatea suprafeței prelucrate din cauza apariției vibrațiilor în timpul prelucrării. La aceeași rigiditate a mașinii-unelte, calitatea suprafeței piesei prelucrate depinde de rigiditatea piesei (de dimensiunile piesei, precum și de modul de fixare a acesteia pe mașina-unealtă).

Observație. Așchierea rapidă cu cuțite și freze frontale ridică calitatea suprafeței prelucrate cu o clasă de calitate; rectificarea rapidă ridică de asemenea calitatea suprafeței prelucrate cu o clasă de calitate.

Aprecierea rugozității suprafeței prelucrate se face după normative de stat; o parte din ele se prezintă în tabelul 4.3.12.

Tabelul 4.3.12.

Rugozitatea suprafeței strunjite cu $v = 50\text{-}70$ m/min; $s = 0{,}15\text{-}0{,}4$ mm/rot și $t = 0{,}5$ mm

Notare veche după STAS 612-49	Notare nouă după STAS 612-61	Clasa de calitate		
		Notare după GOST	STAS 5730-58	
			R_a	R_z
▽	100 ▽	▽1	100	200
	50 ▽	▽2	50	125
	25 ▽	▽3	25	63
▽▽	12,5 ▽	▽4	12,5	40
	6,3 ▽	▽5	6,3	20
	3,2 ▽	▽6	3,2	10
▽▽▽	1,6 ▽	▽7	1,6	6,3
	0,8 ▽	▽8	0,8	3,2
	0,4 ▽	▽9	0,4	1,6
	0,2 ▽	▽10	0,2	0,8
	0,1 ▽	▽11	0,1	0,5
	0,05 ▽	▽12	0,05	0,25
	0,025 ▽	▽13	0,025	0,12
	0,012 ▽	▽14	0,012	0,06

Scanned with OKEN Scanner

Între rugozitatea suprafeței prelucrate și precizia dimensională trebuie să fie o dependență, condiționată de factorii enumerați și analizați în cadrul acestui capitol. Pentru orientare în tabelul 4.3.13 este prezentată precizia de prelucrare și rugozitatea suprafeței obținute prin diferite feluri de prelucrări.

Tabelul 4.3.13.

Calitatea și rugozitatea suprafețelor prelucrate prin diferite procedee și metode de prelucrare

FELUL PRELUCRĂRII	Treapta de precizie ISO	Rugozitatea după STAS 5730/2 (R_a)	Clasa de rugozitate a suprafeței după GOST
Prelucrarea de degroșare cu cuțite	7—10	12,5 —100	4— 1
Prelucrarea de degroșare cu freze cilindrice și frontale	7—8	6,3 — 25	5—3
Prelucrare de semifinisare cu cuțite și freze	6—7	3,2 — 12,5	6—4
Prelucrarea de finisare cu cuțite și freze frontale	5—6	0,8 — 1,6	8—7
Broșarea interioară și exterioară	5—6	1,6 — 3,2	7—6
Burghiere	7—8	6,3 — 12,5	5—4
Alezare	5—6	0,8 — 3,2	8—6
Rectificare de îndreptare	6—5	1,6 — 3,2	7—6
Rectificare de degroșare	6	1,6 — 6,3	7—5
Rectificare de semifinisare	5	0,8 — 1,6	8—7
Rectificare de finisare	5—4	0,2 — 0,8	10—8
Rodare	4	0,05 — 0,8	12—8
Polizare cu bandă abrazivă sau polizare cu disc cu pîslă și pastă	4	0,05 — 0,8	12—8
Honuire fină	5	0,2 — 0,05	10—12
Honuire foarte fină	4—5	0,025— 0,012	13—14
Superfinisare fină	—	0,1 — 0,05	11—12
Superfinisare foarte fină	—	0,025— 0,012	13—14

4.3.9. SINCRONIZAREA OPERAȚIILOR ȘI CALCULUL COEFICIENTULUI DE ÎNCĂRCARE A UTILAJULUI ȘI DE OCUPAȚIE A MUNCITORULUI. ÎNTOCMIREA SCHEMEI LINIEI TEHNOLOGICE

Una din problemele cele mai importante care stă la baza aplicării proceselor tehnologice pe linii tehnologice în flux continuu este asigurarea identității timpilor de lucru pe bucată și operație cu ritmul liniei tehnologice, adică:

$$\tau_{1\,buc} = \tau_{2\,buc} = \ldots = \tau_{n\,buc} = R_l. \qquad (4.3.411)$$

În acest caz linia tehnologică are forma reprezentată schematic în figura 4.3.113.

În cazurile în care în procesul tehnologic proiectat sînt operații pentru care timpul de lucru pe bucată τ_{buc} este un multiplu al ritmului liniei tehnologice, structura acesteia se complică și are forma reprezentată schematic în figura 4.3.114.

Scanned with OKEN Scanner

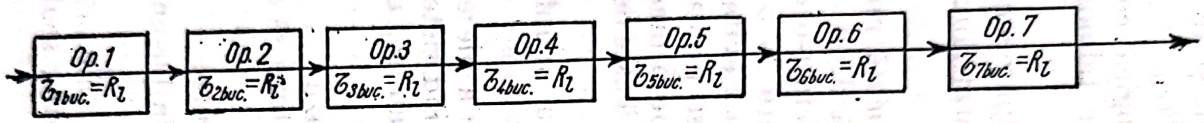


Fig. 4.3.113. Reprezentarea schematică a unei linii tehnologice în flux continuu cu timpii de lucru pe bucată egali între ei și egali cu ritmul liniei.

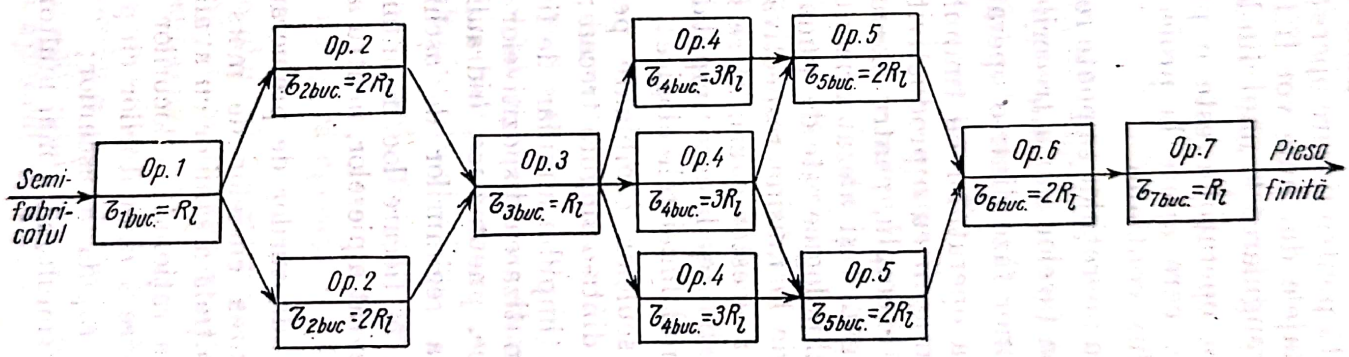


Fig. 4.3.114. Reprezentarea schematică a unei linii tehnologice în flux continuu cu timpii de lucru pe bucată la unele operații egali cu ritmul liniei, iar la altele multipli ai ritmului liniei.

Scanned with OKEN Scanner

La divizarea procesului tehnologic în operații nu se pot obține operații pentru care timpul de lucru pe bucată să fie egal cu ritmul liniei tehnologice sau un multiplu al acesteia.

De aceea, după ce procesul tehnologic a fost proiectat (după ce au fost stabilite operațiile și succesiunea lor) și calculat timpul de lucru pe bucată pentru fiecare operație, trebuie să se facă corectările necesare în scopul sincronizării operațiilor, adică al asigurării egalității sau multiplicității timpilor de lucru pe bucată pentru fiecare operație cu ritmul liniei tehnologice. În felul acesta toate utilajele din linie vor fi încărcate uniform și se va evita mersul în gol sau strangularea la unul din locurile de muncă.

Sincronizarea operațiilor este o problemă tehnologică complexă și de mare răspundere, care apare la proiectarea proceselor tehnologice pe linii tehnologice în flux continuu.

Sincronizarea operațiilor se poate realiza prin următoarele căi:

— regruparea fazelor sau a trecerilor în cadrul operațiilor;

— trecerea unor faze dintr-o operație în alta;

— executarea operațiilor cu timpul de lucru pe bucată mai mare decît ritmul liniei, pe mașini cu o productivitate mai ridicată decît cea prevăzută inițial. Astfel de exemplu, pentru executarea a 5 găuri într-o carcasă mare, pe o mașină de găurit și alezat orizontală, sînt necesare 4—5 ore, în timp ce ritmul liniei tehnologice este de numai 60 min. Pentru a evita strangularea fluxului tehnologic la mașina respectivă, va trebui să se prevadă ca operația de executare a acestor găuri, să se facă în paralel pe 5 mașini sau pe o mașină agregat cu 5 broșe la care timpul de lucru pe bucată este de 50—60 min, timp egal cu ritmul liniei tehnologice;

— folosirea sculelor combinate pentru prelucrarea simultană a mai multor suprafețe dintr-o singură trecere;

— reducerea timpului auxiliar de fixare și desfacere a piesei prin mecanizarea sau automatizarea dispozitivelor respective, folosind sisteme de automatizare mecanice, pneumatice, hidraulice, pneumohidraulice, electrice etc.

— schimbarea regimurilor de așchiere;

— asigurarea la fiecare loc de muncă dacă este cazul, a unui aparat de ridicat și manevrat a pieselor, pentru a evita ca muncitorii să aștepte unul după altul;

— reducerea adaosurilor de prelucrare pe semifabricate;

— automatizarea curselor de mers în gol a mașinilor-unelte (revenirea în poziția inițială a săniilor cu avans rapid etc.);

— organizarea rațională a locurilor de muncă, prin îmbunătățirea sistemului de deservire a muncitorilor cu piese (semifabricate), scule;

— evacuarea rapidă a așchiilor;

— deservirea simultană a mai multor mașini de către un singur muncitor.

Pentru a se ilustra modul în care se face sincronizarea operațiilor, se prezintă următorul exemplu concret:

Astfel, pentru prelucrarea unei piese pe o linie tehnologică în flux continuu, ritmul rezultat din calcul este de 0,5 min. Procesul tehnologic proiectat (înainte de a se face sincronizarea operațiilor) cu numărul de operații și normele tehnice de timp pe bucată și operație este reprezentat în tabelul 4.3.14.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.3.14.

Datele procesului tehnologic proiectat (date rezultate înainte de sincronizare)

Numărul operației	1	2	3	4	5	6	7
Denumirea operației	Strunjire pe strung revolver	Strunjire pe strung universal	Strunjire pe strung universal	Burghiere	Burghiere	Tăierea filetului	Burghiere
Norma tehnică de timp în minute	0,06	0,65	1,11	0,41	0,44	0,3	0,2

După cum se vede, norma tehnică de timp variază în limite foarte mari în jurul valorii ritmului, de la 0,2 ... 1,11 min, la nici una din operații nefiind egală cu ritmul liniei și nici un multiplu al acestuia. Un astfel de proces tehnologic este irațional și se impune sincronizarea lui.

Măsurile aplicate pentru sincronizarea operațiilor în cazul examinat au fost foarte simple și cu mare eficiență în scopul urmărit. Astfel, pentru a se reduce timpul de lucru pe bucată, respectiv norma tehnică de timp la operația 1 s-a schimbat semifabricatul. Acesta inițial se obținea prin turnare în cochilă, cu un adaos mare de prelucrare. Executarea lui prin turnare sub presiune a condus la micșorarea adaosului de prelucrare și deci, la reducerea numărului de treceri la prelucrarea prin așchiere și în același timp a timpului de lucru pe bucată de la 0,86 la 0,43 min, timp foarte apropiat de ritmul liniei.

Pentru reducerea timpului de lucru la operația 2 s-a folosit un cuțit combinat, ceea ce a făcut ca acesta să scadă de la 0,65 la 0,46 min.

La operația 3 s-a înlocuit vechiul universal cu strîngere mecanică cu un universal cu strîngere pneumatică, reducînd astfel timpul pe bucată de la 1,11 la 1,0 min, adică pînă la multiplul ritmului liniei.

La operațiile 4 și 5 timpii de lucru fiind apropiați de ritmul liniei nu se impun îmbunătățiri speciale.

Operațiile 6 și 7 se unesc într-o singură operație cu timpul de lucru egal chiar cu ritmul liniei tehnologice.

Sincronizarea operațiilor procesului tehnologic proiectat se poate reprezenta grafic ca în figura 4.3.115 dînd o imagine foarte sugestivă asupra modului în care a fost proiectat procesul tehnologic.

Sincronizarea cît mai bună a operațiilor asigură obținerea unui coeficient ridicat de ocupație a muncitorului și de încărcare a utilajului.

Coeficientul de ocupație al muncitorului sau al muncitorilor la fiecare operație în parte se determină cu ajutorul relațiilor:

$$\eta_{m_1} = \frac{t'_1}{K_{m_1} R_l}; \quad \eta_{m2} = \frac{t'_2}{K_{m_2} R_l}; \quad \ldots \eta_{m_n} = \frac{t'_n}{K_{m_n}}, \qquad (4.3.412)$$

în care: K_{m_1}; $K_{m_2} \ldots K_{m_n}$ este numărul de muncitori care efectuează lucru la operația $1,2 \ldots n$; t_1, $t_2 \ldots t_n$ — volumul de muncă exprimat în timp necesar a fi efectuat la fiecare operație (de la operația 1 pînă la operația n); R_l — ritmul liniei tehnologice.

Scanned with OKEN Scanner

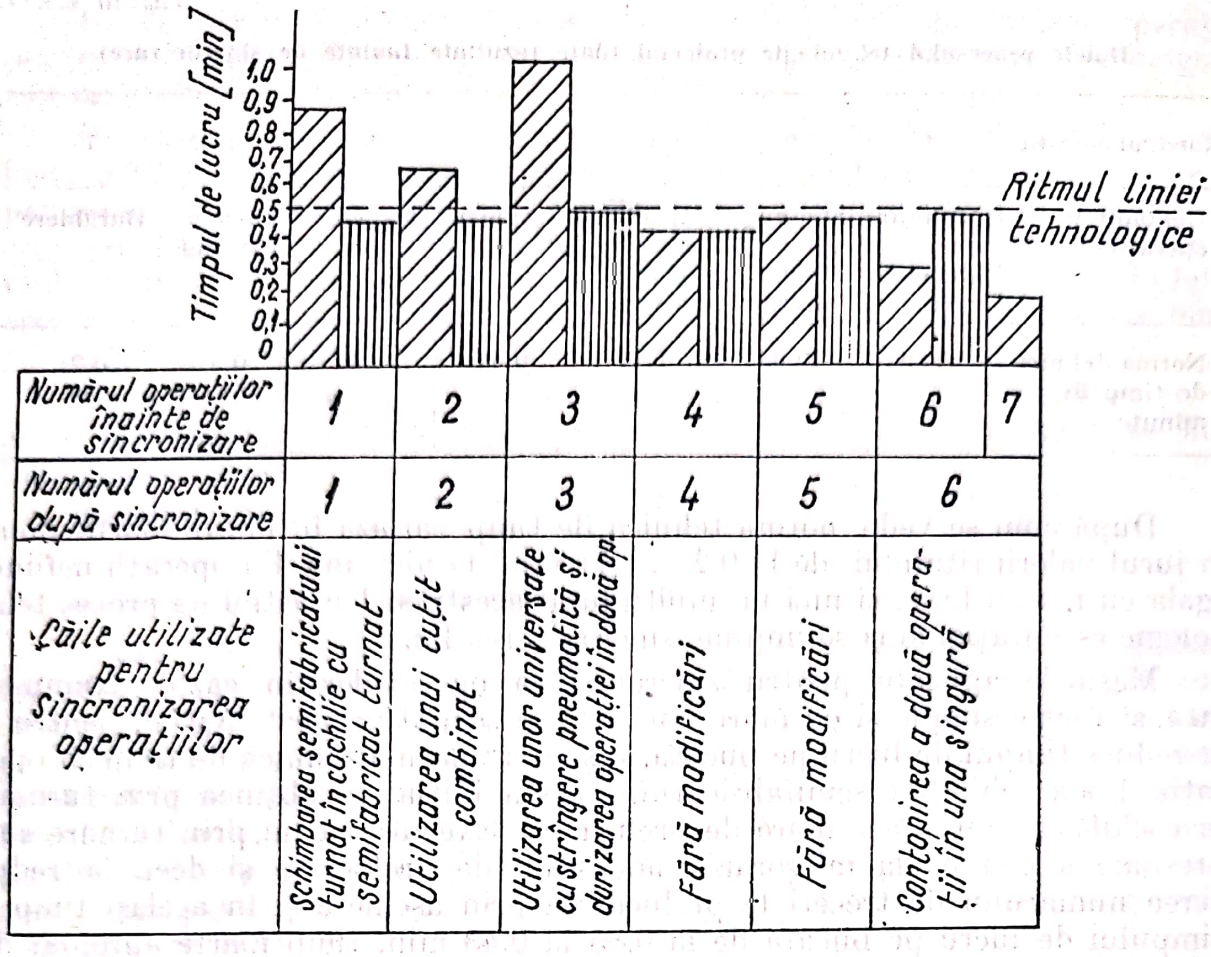


Fig. 4.3.115. Reprezentarea grafică a sincronizării operațiilor: norma de timp pe operație înainte de sincronizare (haşur înclinat); norma de timp pe operație după sincronizare (haşur drept).

Coeficientul de ocupație al tuturor muncitorilor de pe linia tehnologică se determină după relația:

$$n_{m_l} = \frac{\eta_{m1} K_{m1} + \eta_{m2} K_{m2} + \ldots + \eta_{mn} K_{mn}}{K_{u_1} + K_{u_2} + \ldots + K_{u_n}}. \qquad (4.3.413)$$

Coeficientul de încărcare a fiecărui utilaj de pe linia tehnologică se determină cu relațiile:

$$\eta_{u_1} = \frac{\tau_{1\,buc}}{K_{u_1} R_l}; \quad \eta_{u_2} = \frac{\tau_{2\,buc}}{K_{u_2} R_l}; \quad \ldots \eta_{u_n} = \frac{\tau_{nbuc}}{K_{u_n} R_l}, \qquad (4.3.414)$$

în care K_{u_1}, K_{u_2} ... K_{u_n} este numărul de mașini (utilaje) pe care se execută în paralel operația 1,2 ... n; t_{1buc}, t_{2buc}, ..., t_{nbuc} — timpul de lucru pe bucată (norma tehnică de timp) pentru fiecare operație în parte, începînd de la operația 1 pînă la n.

Coeficientul de încărcare al tuturor utilajelor de pe linia tehnologică se determină cu relația:

$$\eta_{u_l} = \frac{\eta_{u_1} K_{u_1} + \eta_{u_2} K_{u_2} + \ldots + \eta_{u_n} K_{u_n}}{K_{u_1} + K_{u_2} + \ldots + K_{u_n}}. \qquad (4.3.415)$$

Scanned with OKEN Scanner

Toate datele care caracterizează un proces tehnologic care se execută pe o linie tehnologică în flux continuu trebuie să fie incluse într-un tabel centralizator ca cel întocmit pentru exemplul concret prezentat mai sus (tab. 4.3.15).

Tabelul 4.3.15

Datele procesului tehnologic proiectat (date obținute după sincronizarea operațiilor)

Numărul operației	1	2	3	4	5	6
Denumirea operației	Strunjire pe strung revolver	Strunjire pe strung	Strunjire pe strung	Burghiere	Filetare	Burghiere
Ritmul liniei tehnologice în minute			0,5			
Norma tehnologică de timp pentru fiecare operație în minute	0,43	0,46	1	0,41	0,44	0,5
Numărul locurilor de muncă	1	1	2	1	1	1
Coeficientul de (utilizare) ocupație al muncitorului (η_m)	0,86	0,92	1	0,82	0,88	1
Coeficientul de încărcare al utilajului (η_u)	0,86	0,92	1	0,82	0,88	1
Coeficientul de ocupație al muncitorilor de pe linia tehnologică (η_m)	0,93					
Coeficientul de încărcare al utilajelor de pe linia tehnologică (η_{ut})	0,81					

În cazul în care piesele care se execută pe o linie tehnologică în flux continuu sînt confecționate din semifabricate turnate, susceptibile de a avea defecțiuni de turnare, este rațional ca încărcarea utilajului pe care se execută prima operație, operație în care se pot detecta defecțiunile de turnare, să fie mult mai mic decît ritmul liniei, pentru a se putea executa o altă piesă în locul celei rebutate.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 5

CĂI CARE CONDUC LA MĂRIREA PRODUCTIVITĂȚII MUNCII ȘI LA REDUCEREA COSTULUI

5.1. CĂI CARE CONDUC LA MĂRIREA PRODUCTIVITĂȚII MUNCII

Problema măririi productivității muncii nu poate fi privită ca o problemă pur tehnică. Această problemă este strîns legată de problemele organizatorice și cele economice ale producției.

Pentru a se asigura obținerea unei productivități mărite se impune:

— ridicarea nivelului tehnic al producției;

— ridicarea calificării profesionale a muncitorilor și a personalului tehnico-ingineresc;

— stimularea cointeresării materiale;

— ridicarea nivelului ideologic și cultural a muncitorilor, personalului tehnico-ingineresc și administrativ.

Măsurile care duc la mărirea productivității muncii pot fi divizate în trei grupe mari:

Prima grupă cuprinde măsurile legate de proiectarea produsului, de alegerea semifabricatelor și a materialelor.

A doua grupă cuprinde măsurile cu caracter organizatoric, îndreptate mai ales spre eliminarea pierderilor de timp legate de:

— așezarea și fixarea pieselor în dispozitive sau pe masa mașinii;

— organizarea locului de muncă;

— îmbunătățirea deservirii muncitorului la locul de muncă;

— ascuțirea sculelor;

— strîngerea și evacuarea așchiilor;

— transportul pieselor de la un loc de muncă la altul.

A treia grupă cuprinde măsuri legate de raționalizarea tehnologiilor. măsuri care vor fi tratate mai pe larg decît cele din primele două grupe.

Măsurile din prima grupă joacă un rol foarte important în mărirea productivității și reducerea costului.

Foarte frecvent se întîlnește în producție noțiunea de *tehnologicitate* a construcției, care exprimă gradul în care la proiectare s-a ținut seama de condițiile de exploatare a piesei și de condițiile de execuție a piesei respective. În foarte frecvente cazuri se pot aduce corecturi pieselor proiectate fără a se afecta condițiile impuse funcționării, corecturi care ușurează nespus de mult condițiile de execuție a piesei, mărind productivitatea și reducînd

Scanned with OKEN Scanner

mult costul. Corecturile respective se referă atît la forma geometrică, cît și la dimensiuni și chiar toleranțe.

Măsurile care fac o construcție rațională din punct de vedere tehnologic pot fi divizate în patru grupe. Alegerea soluțiilor juste este funcție de caracterul producției, deoarece o construcție poate fi rațională din punct de vedere tehnologic în condițiile producției individuale și irațională în condițiile producției de masă și invers.

1. **Standardizarea și unificarea** produselor, ansamblelor de mașini și a pieselor. Cu toate că standardizarea este o acțiune care a început de mult timp în țara noastră, totuși în domeniul construcției de mașini, în comparație cu alte țări, nu s-a făcut totul. De la standardizarea unor *elemente de mașini*, trebuie să se ajungă la standardizarea unui număr mare de *organe* și *ansamble de mașini* care au același rol funcțional în componența multor tipuri de mașini, însă la ora actuală ele au forme și dimensiuni diferite datorită imaginației diferite a constructorilor sau proiectanților care le-au proiectat. Chiar și în componența aceluiași tip de mașini se întîlnesc piese și chiar ansamble cu dimensiuni și forme geometrice diferite, însă cu același rol funcțional.

Dacă toate aceste mașini s-ar proiecta în mod coordonat, s-ar putea obține o *gamă de mașini* care s-ar deosebi una de alta numai atît cît este absolut necesar. În felul acesta multe piese și chiar ansamble de mașini ar avea aceeași formă geometrică și chiar aceleași dimensiuni pentru toată gama respectivă de mașini. Unificarea geometrică și dimensională a pieselor și ansamblelor de mașini și standardizarea reduce volumul de proiectare și pune temelia pentru *tipizarea proceselor tehnologice*, cu toate avantajele care decurg, legate de mărirea productivității și reducerea costului.

Unificarea permite utilizarea sculelor standardizate, reduce numărul sculelor speciale (foarte costisitoare) și al dispozitivelor și mărește volumul de producție, permițînd utilizarea economică a utilajelor de mare productivitate și aplicarea metodelor tehnologice moderne, pe linii tehnologice, chiar automate neeconomice pentru serii mici de piese.

Unificarea pieselor și ansamblelor de mașini ar putea duce la crearea chiar de întreprinderi specializate în care să se execute de exemplu:

— toate roțile dințate utilizate în construcția de mașini din țară (autovehicule, mașini-unelte etc.); toate tipurile de reductoare, cutii de viteze, arbori etc. În astfel de întreprinderi creșterea productivității și reducerea costului nu ar putea suferi comparație cu cele din întreprinderile actuale.

În această direcție considerăm că trebuie să se îndrepte atenția inginerilor tehnologi în viitorul apropiat.

2. **Alegerea materialelor și a semifabricatelor.** La prescrierea semifabricatelor constructorul trebuie să aibă în vedere condițiile de obținere a lor, deoarece alegerea rațională a semifabricatelor influențează pozitiv nu numai costul produsului, ci duce și la reducerea considerabilă a volumului de prelucrări mecanice și implicit la mărirea productivității. Astfel, de exemplu, înlocuirea unui semifabricat din oțel obținut prin matrițare cu unul din fontă nodulară obținută prin turnare, reduce foarte mult volumul prelucrării mecanice, deoarece adaosul de prelucrare pe ultimul este mai mic decît pe primul, iar proprietățile fizico-mecanice sînt aproape egale. De aceea, definitivarea alegerii semifabricatelor și a materialelor trebuie să se facă în urma consultării inginerului tehnolog, care are permanent în vedere în activitatea lui proiectarea de procese tehnologice care să asigure creșterea continuă a productivității și reducerea costului.

Scanned with OKEN Scanner

3. **Analiza toleranţelor şi cotarea.** Analiza toleranţelor deseori permite a simplifica foarte mult prelucrarea. Inginerii proiectanţi în general sînt înclinaţi a prescrie toleranţe strînse fără o motivare convingătoare, mai mult pentru „acoperire" sau siguranţă. Inginerul tehnolog trebuie să studieze cu atenţie desenul de ansamblu şi funcţionarea maşinii respective sau a produsului şi să verifice toleranţele şi cotele. De foarte multe ori la sugestia tehnologului, constructorul a modificat toleranţele şi cotarea, simplificînd în felul acesta procesul tehnologic de prelucrare. Cîteodată revizuirea toleranţelor şi a ajustajelor nu numai că simplifică prelucrarea, ci în acelaşi timp uşurează foarte mult şi asamblarea. Un sistem de cotare raţională permite utilizarea teoriei lanţurilor de dimensiuni pentru determinarea toleranţelor economice. Prevederea în lanţul de dimensiuni a unui compensator fix sau mobil permite prescrierea unor toleranţe mărite elementelor lanţului de dimensiuni, ceea ce uşurează foarte mult prelucrarea şi contribuie la mărirea productivităţii.

4. **Simplificarea prelucrării mecanice.** În multe cazuri schimbarea sau modificarea unei construcţii nu reduce volumul de prelucrări mecanice, însă le simplifică sau le face mult mai comode. Astfel, dacă în componenţa produsului se prevăd cît mai multe piese cu forme de revoluţie, executarea produsului se simplifică foarte mult, deoarece prelucrările prin strunjire sînt mult mai uşor de realizat decît alte forme.

Se recomandă constructorilor a prevedea dispunerea suprafeţelor de îmbinare în acelaşi plan, de exemplu a unei carcase pe un batiu, deoarece prelucrarea lor se simplifică foarte mult, eliminîndu-se necesitatea reglării la dimensiune a sculei pentru fiecare suprafaţă. De asemenea, se recomandă a se prevedea pe cît este posibil găuri străpunse şi drepte în locul celor înfundate şi în trepte.

Exemple de tehnologicitate a pieselor individuale şi a construcţiei care simplifică mult prelucrarea mecanică şi contribuie la mărirea productivităţii şi reducerea costului pot fi date multe, însă nu este locul aici. Poate fi consultată de către constructori şi chiar tehnologi, lucrarea [44].

Măsurile din grupa a doua, aşa cum s-a arătat, au un caracter organizatoric şi au drept scop reducerea timpilor auxiliari şi de deservire organizatorică şi tehnică a locului de muncă, timpi cu mare pondere în norma tehnică de timp pe bucată.

Timpul consumat pentru aşezarea şi fixarea piesei în dispozitiv sau pe masa maşinii, precum şi timpul necesar pentru scoaterea piesei prelucrate influenţează într-o măsură foarte mare asupra productivităţii. De aceea, inginerul tehnolog în primul rînd trebuie să proiecteze un astfel de proces tehnologic în care să se reducă numărul de prinderi şi desprinderi ale piesei. Acest lucru este posibil atunci cînd se prevede ca prelucrarea piesei să se facă în operaţii concentrate în care la o singură fixare a piesei se face prelucrarea ei din mai multe poziţii.

În afară de reducerea numărului de fixări ale piesei trebuie să se micşoreze timpul pentru fiecare fixare.

Soluţiile care duc la *micşorarea timpului pentru fixarea piesei* rezultă uşor, dacă procesul de fixare al piesei se descompune în părţile lui componente. Astfel, ridicarea piesei şi aşezarea ei în dispozitiv sau direct pe masa maşinii, precum şi scoaterea piesei de pe maşină după prelucrare sînt acţiuni pe care le execută muncitorul care lucrează efectiv la maşină. Dacă maşina nu este prevăzută cu mai multe posturi de lucru şi cu post special de încărcare-descărcare, atunci în tot acest timp maşina nu lucrează. Timpul consu-

Scanned with OKEN Scanner

mat cu fixarea și scoaterea piesei face parte integrantă din operația care se execută pe mașina respectivă și intră ca parte componentă în norma tehnică de timp pe bucată și micșorează productivitatea utilajului. Mărirea timpului consumat cu executarea acestei părți a operației depinde în primul rînd de modul de *organizare a locului de muncă.*

Dacă piesa are o greutate mai mare de 5 kg este necesar a se prevedea lîngă mașină o instalație de ridicat (electrică sau pneumatică). Atunci cînd transportul pieselor de la o mașină la alta nu se face automat (cu bandă rulantă sau transportor suspendat) și nici pe cale cu role, se recomandă a se interzice aruncarea pieselor jos pe podea pentru că în afară de faptul că piesele se deteriorează prin lovire una de alta, aplecarea muncitorului pentru ridicarea pieselor consumă nu numai timp ci și multă energie fizică care duce la extenuarea muncitorului și la reducerea productivității muncii acestuia. Piesele trebuie să se așeze în rafturi sau pe mese la înălțimea mașinii, de unde pot fi luate de muncitor mai comod și fără efort fizic extenuant.

Fixarea manuală a piesei (sau strîngerea ei) în dispozitiv sau pe masa mașinii, în afară de faptul că nu se face totdeauna uniform și piesa poate fi deformată și chiar rebutată, consumă un timp auxiliar mult mai mare decît atunci cînd acest lucru se face mecanic (hidraulic, pneumatic sau electromagnetic). De aceea, în producția de serie mare și de masă dispozitivele cu strîngere manuală trebuie eliminate complet și înlocuite cu dispozitive cu strîngere automată care duc la mărirea productivității muncii și la reducerea maximă a efortului fizic al muncitorului.

Asupra timpului auxiliar, respectiv asupra productivității influențează foarte mult și timpul consumat cu *manevrarea mașinii-unelte*, adică cu pornirea și oprirea acesteia cuplarea și decuplarea avansurilor (aceasta din urmă se face în multe cazuri automat), readucerea în poziția inițială a săniilor etc. Utilizarea mașinilor-unelte moderne asigură mărirea productivității prin reducerea timpului auxiliar consumat cu manevrarea mașinii.

Aplicarea și extinderea controlului activ al dimensiunilor este o sursă legată de mărirea productivității, mai ales la prelucrările de finisare făcute pe mașini, care cu toate că sînt reglate la dimensiune (mașinile de rectificat, honuit) nu asigură obținerea automată a dimensiunii și necesită măsurări frecvente prin oprirea mașinii. Controlul activ duce în același timp prin eliminarea completă a rebutului și la reducerea costului.

Prin aplicarea metodelor tehnologice moderne de prelucrare timpul de bază de mașină se reduce tot mereu pînă cînd la unele prelucrări ajunge la limita minimă. Cu toate acestea, norma tehnică de timp pe bucată mai poate încă fi redusă mult prin descoperirea tuturor rezervelor interne ascunse în timpul auxiliar și în celelalte componente ale normei tehnice de timp pe bucată.

Timpul de deservire tehnică a locului de muncă influențează de asemenea într-o măsură mare asupra productivității.

În timpul pentru deservirea tehnică a locului de muncă este inclus timpul consumat cu: schimbarea sculei uzate și reglarea la cotă a sculei reascuțite; reglarea de compensare (reglarea la dimensiune atunci cînd din cauza uzurii sculei pe fața de așezare dimensiunea suprafeței care se prelucrează a depășit limitele cîmpului de toleranță fără a-și pierde calitățile aschietoare); ascuțirea sculelor uzate; înlocuirea unei scule cu o altă sculă, atunci cînd se face prelucrarea unei piese după metoda concentrării operațiilor (fără a fi automatizat ciclul de lucru al mașinii).

Timpul consumat cu schimbarea sculei uzate se poate reduce mult dacă mașina este prevăzută cu dispozitive speciale care să permită scoaterea și

Scanned with OKEN Scanner

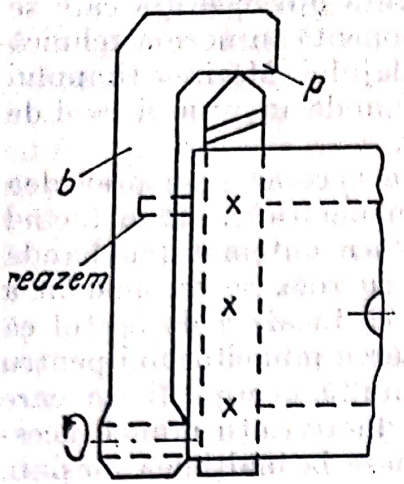


Fig. 5.1.1. Dispozitiv pentru reglarea rapidă la dimensiune a cuțitului reascuțit.

fixarea rapidă a sculei, cum este de exemplu mandrina utilizată la mașinile de găurit care permite scoaterea și fixarea sculei în timpul mersului.

Fixarea rapidă la cotă a sculelor reascuțite se poate face prin utilizarea unor dispozitive adaptabile pe mașinile respective. Astfel, de exemplu, în figura 5.1.1 este reprezentat schematic un dispozitiv simplu, fixat pe suportul port-cuțit al strungului, cu ajutorul căruia se poate fixa la cotă cuțitul reascuțit într-un timp foarte scurt, fără a mai fi nevoie de luare de așchii de probă pentru reglarea la cotă.

La reglarea inițială a mașinii, cuțitul se fixează în suportul port-cuțit în așa fel încît vîrful lui să atingă pastila *p* a brațului *b* așezat în poziție orizontală, după care brațul *b* se rotește cu 180°. Prin luare de așchii de probă se reglează cuțitul, respectiv sania transversală în poziția corespunzătoare pînă se obține, diametrul dorit al piesei care se prelucrează, după care se fixează la zero tamburul gradat al saniei. După această etapă mașina este reglată la cotă sau la dimensiune. Cuțitul reascuțit se fixează în suportul port-cuțite în modul următor: se aduce brațul *b* din nou în poziția orizontală (reprezentată în figură) și se procedează ca și la reglarea inițială, fără însă să se modifice poziția tamburului gradat care rămîne în poziția de zero. În felul acesta s-a asigurat aceeași poziție a vîrfului cuțitului față de axa de rotație a piesei care se prelucrează și prin aceasta s-a eliminat necesitatea reglării prin luare din nou de așchii de probă.

În ultimul timp au apărut mașini-unelte prevăzute cu perechi de suporți port-scule care se pot demonta și fixa foarte ușor și repede pe mașină, suporți în care scula sau sculele se fixează la cotă în afara mașinii. Suportul respectiv cu sculele fixate pe el în poziția corespunzătoare se fixează într-un timp foarte scurt pe mașină în locul suportului cu sculele uzate. În timpul desfășurării procesului de așchiere, sculele uzate de pe suportul înlocuit se scot și se fixează în locul lor scule reascuțite din timp. În felul acesta, după cum se vede, timpul consumat cu înlocuirea și reglarea sculelor reascuțite se suprapune peste timpul de bază de mașină, ceea ce duce la mărirea corespunzătoare a productivității.

La mașina de rabotat și la cea de frezat se utilizează în scopul arătat mai sus diverse construcții speciale (șabloane, etaloane etc.) cu ajutorul cărora se reduce la minimum timpul consumat cu reglarea la cotă a sculelor reascuțite.

Timpul de deservire tehnică consumat cu efectuarea reglărilor periodice la dimensiune a sculelor datorită uzurii lor pe fața de așezare se poate reduce complet dacă se adaptează la mașina respectivă un sistem de control activ și de autoreglare la dimensiune a sculei, influențînd în felul acesta foarte mult asupra măririi productivității.

Timpul de lucru consumat cu ascuțirea sculelor uzate în producția de serie mare și masă se poate reduce complet dacă întreprinderea respectivă are ascuțitorie centrală. În producția de serie mică și de unicate acest timp se poate suprapune peste timpul de bază de mașină (dacă acesta din urmă

Scanned with OKEN Scanner

este suficient de mare), atunci cînd ascuţirea sculei uzate se face în timpul desfăşurării procesului de aşchiere.

În general, nu se recomandă ca ascuţirea sculelor (a cuţitelor de strung şi a burghielor) să se facă de muncitorul strungar sau cel care lucrează la maşina de găurit. Ascuţirea sculelor trebuie să se facă pe maşini speciale de ascuţit, de către muncitori specializaţi, la geometria impusă de inginerul tehnolog.

Timpul consumat cu schimbarea succesivă a sculelor în ordinea succesiunii fazelor unei operaţii se poate reduce dacă se utilizează la lucrul pe maşini-unelte universale suporţi port-scule de tipul capului revolver. În acest caz timpul consumat cu schimbarea succesivă a sculelor se reduce pînă la timpul necesar întoarcerii capului revolver în poziţia corespunzătoare.

Maşinile-unelte moderne sînt prevăzute în acest scop cu sisteme de schimbare automată a sculelor, cu mîini mecanice, care înlocuiesc sculele dintr-o magazie de scule (v. fig. 5.1.2, *a*) pe bază de program (aceste tipuri de maşini-unelte în literatură sînt denumite *centre de prelucrare*, fig. 5.1.2, *b*).

O posibilitate care stă la îndemîna oricărui tehnolog, de a reduce mult timpul consumat cu schimbarea sculei, este aceea a reducerii numărului de scule. Acest lucru este posibil prin utilizarea sculelor combinate care se utilizează în mod frecvent la prelucrările pe strung, pe maşina de găurit, pe maşina de frezat şi chiar pe maşina de broşat, în toate cele trei tipuri de producţie. Cu ajutorul unei singure scule combinate se pot prelucra două-trei suprafeţe ale piesei, la o singură fixare a sculei.

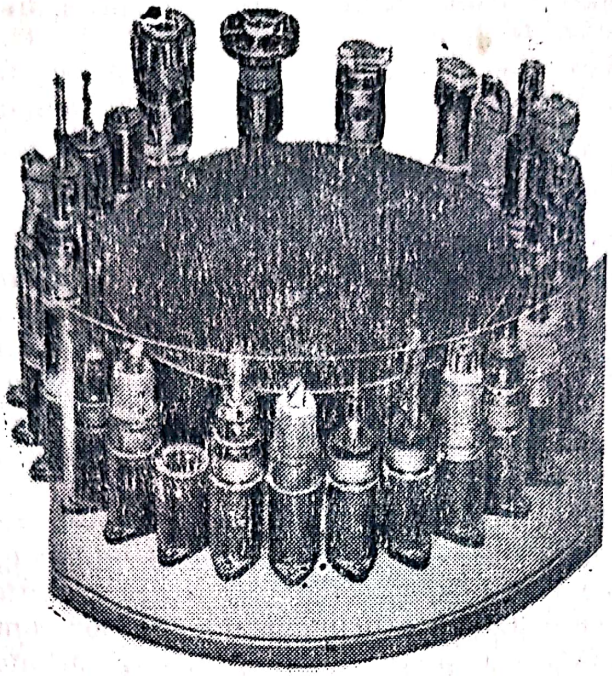
În timpul de deservire a locului de muncă, în care intră şi deservirea organizatorică a acestuia, muncitorul, în afară de alte acţiuni legate de organizarea locului de muncă, se ocupă şi de îndepărtarea aşchiilor. De multe ori această acţiune nu se efectuează în timpul procesului de aşchiere pentru ca timpul consumat să se suprapună peste timpul de bază de maşină. Îndepărtarea aşchiilor, mai ales la prelucrările de degroşare prin strunjire cu aşchii continui, necesită un consum important de timp care se reflectă negativ asupra productivităţii. De aceea, problema fragmentării aşchiilor este o problemă de mare importanţă pe plan mondial şi ea a rămas încă nerezolvată, deoarece soluţiile publicate (sfărîmător de aşchii aplicat pe pastilă sau practicarea unui canal pe faţa de degajare) nu sînt universal valabile.

În întreprinderile moderne constructoare de maşini evacuarea aşchiilor de la maşini se face mecanizat, cu transportoare subterane, muncitorii de la maşini fiind scutiţi de această muncă.

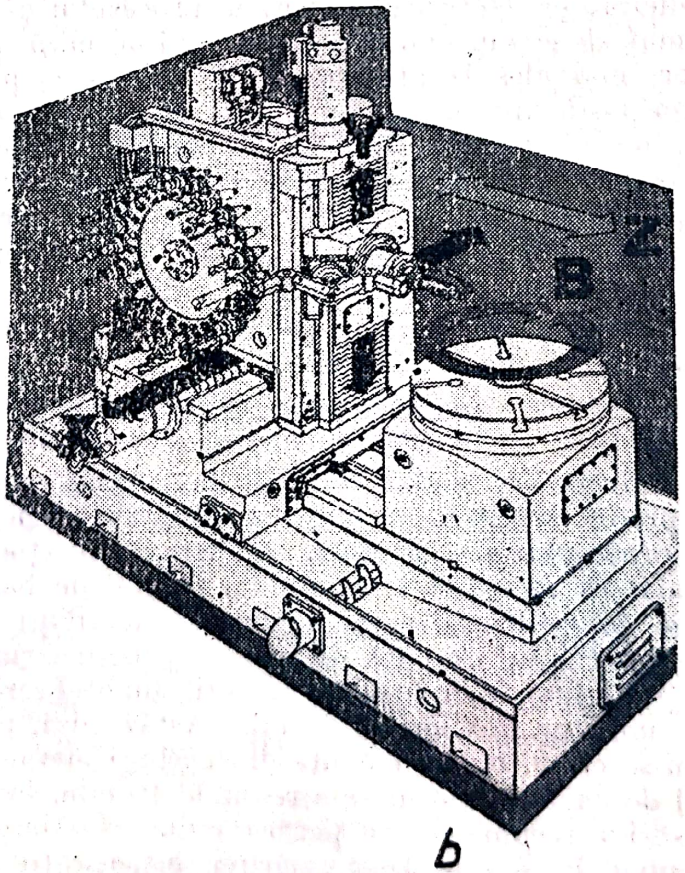
Măsurile din grupa a III-a pot fi uşor depistate dacă se analizează mai profund timpul de bază de maşină şi timpul de pregătire-închidere.

Importanţa reducerii timpului de bază de maşină este atît de vădită încît foarte des productivitatea întregului proces tehnologic se identifică cu productivitatea procesului de aşchiere. Această afirmaţie se bazează pe faptul incontestabil că reducînd la minimum timpul de bază de maşină se impune reducerea corespunzătoare şi a timpilor auxiliari. Astfel, dacă în urmă cu 50—60 ani timpul de bază de maşină pentru strunjirea unei piese era de 100 min (strunjirea făcîndu-se cu un cuţit din oţel carbon), se admitea, nefiind exagerat, un timp auxiliar de 20 min. Astăzi însă, prelucrarea aceleiaşi piese făcîndu-se cu cuţite cu plăcuţe din carburi metalice sau mineraloceramice, timpul de bază de maşină s-a redus la 10 min, lucru care a impus luarea unor măsuri corespunzătoare pentru reducerea timpului auxiliar de la 20 min la numai 2—3 min. Deci, mărirea intensităţii lucrului maşinii-unelte, duce în mod implicit la reducerea corespunzătoare a timpului auxiliar.

Scanned with OKEN Scanner



a



b

Fig. 5.1.2. (*a*) magazia cu scule; (*b*) centru de prelucrare

Scanned with OKEN Scanner

Reducerea timpului de bază de mașină se realizează prin înlocuirea metodelor tehnologice vechi cu metode noi mult mai productive, ca de exemplu:

— prelucrarea rapidă (strunjire, frezare, broșare interioară și exterioară);

— frezarea și broșarea de degroșare a suprafețelor de revoluție; strunjirea și frezarea în stare caldă a metalelor; strunjirea, frezarea și găurirea rapidă sau intensivă cu răcire-ungere cu lichid în stare pulverizată; rectificarea rapidă; prelucrarea electrochimică a pieselor cu profil complex în spațiu; îmbunătățirea prelucrabilității metalelor; ridicarea calității semifabricatelor (în sensul ca acestea să aibă forma geometrică și dimensiunile cît mai apropiate de ale piesei finite); mărirea rigidității sistemului tehnologic mașină-unealtă-dispozitiv-piesă-sculă; executarea prelucrărilor numai cu regimuri optime de așchiere determinate științific (utilizînd programarea matematică, calculatoarele electronice); aplicarea normelor de timp științifice; determinarea rațională a conținutului operațiilor; prelucrarea cu toleranțe mărite (față de cele impuse), aplicînd metoda interschimbabilității parțiale și metoda selectivă.

Pentru găsirea căilor care conduc la reducerea timpului de bază de mașină se face analiza relației analitice a acestuia:

$$\tau_{bm} = \frac{(l_s + l_i + l_e)i}{ns} = \frac{L_e i}{ns} = \frac{L_c}{ns}\frac{a_b}{t} = \frac{L_c \pi d a_b}{1\,000 v s t}, \qquad (5.1.1)$$

în care: l_s este lungimea suprafeței care se prelucrează; l_i, l_e — lungimea parcursă de sculă cu avans de lucru înainte de intrarea în așchie, respectiv cea de la ieșirea din așchie; L_c — lungimea cursei săniei cu scula cu avans de lucru; i — numărul de treceri, $i = \frac{a_b}{t}$, unde a_b este adaosul de prelucrare, iar t este adîncimea de așchiere la o trecere; d — diametrul suprafeței care se prelucrează; n — numărul de rotații sau de curse duble ale piesei sau sculei; v — viteza de așchiere; s — avansul pe o rotație sau pe cursă dublă. Analizînd relația (5.1.1) se vede că acesta se poate reduce fie reducînd lungimea cursei săniei pe care este fixată scula, L_c, lungime parcursă cu avans de lucru, fie reducînd numărul de treceri i sau mărind viteza de avans (produsul ns).

Lungimea L_c a cursei săniei poate fi redusă dacă prelucrarea suprafeței respective se face, de exemplu, prin strunjire, cu mai multe cuțite simultan fixate pe aceeași sanie sau micșorînd lungimea l_i. Lungimea cursei L_c se pare că poate fi redusă cu atît mai mult cu cît numărul de cuțite cu care se face prelucrarea simultan este mai mare. În paragraful (3.6.2) s-a demonstrat însă că dacă numărul de cuțite este mai mare decît numărul optim, atunci timpul de bază de mașină se mărește în loc să scadă.

Lungimea l_i și l_e pot fi reduse printr-o reglare corespunzătoare a opritoarelor la prelucrările prin strunjire, găurire, rabotare, mortezare, iar la frezarea cu cap de frezat prin prelucrarea cu o sculă cu diametrul cît mai mare fixată cu axa de rotație chiar pe axa de simetrie a suprafeței care se prelucrează (fig. 5.1.3)

Atunci cînd diametrul de frezat D_f este cu mult mai mare decît B, lungimea l_i pe care o parcurge masa cu piesa pînă la intrarea completă în așchie este mai mică decît atunci cînd diametrul capului de frezat D_f este aproape egal cu B (cînd l_i'' este mai mare decît l_i'). De asemenea, se vede din figura amintită că atunci cînd capul de frezat nu are axa de rotație coaxială cu

Scanned with OKEN Scanner

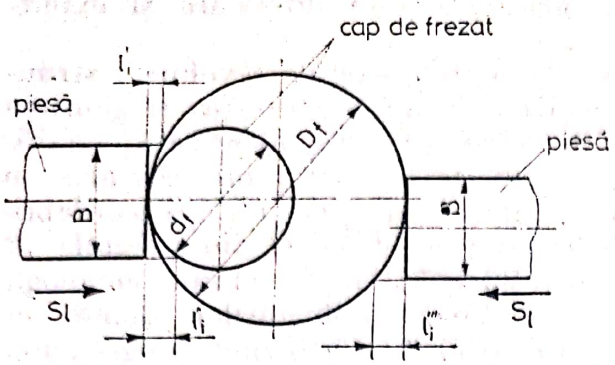


Fig. 5.1.3. Schema de reglaj cu valori diferite pentru mărimea l_i.

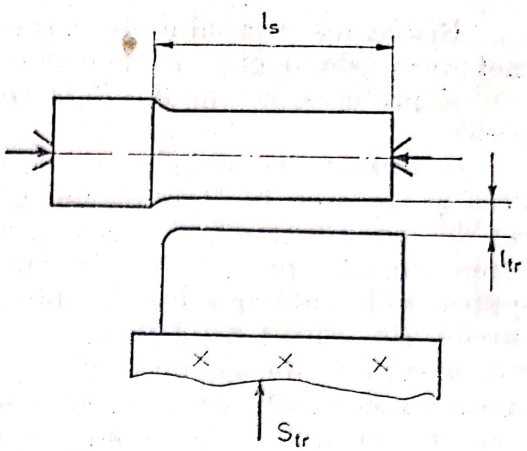


Fig. 5.1.4. Strunjirea cu cuțit cu muchia lată cu avans transversal.

cea de simetrie a piesei, lungimea l'''_i este mult mai mare decît l'_i, cînd cele două axe sînt coaxiale.

Lungimea cursei de lucru a sculei pentru îndepărtarea adaosului de prelucrare de pe suprafața piesei prin strunjire poate fi mult mai redusă dacă se face prelucrarea cu avans transversal cu un cuțit cu lungimea muchiei așchietoare puțin mai mare decît lungimea suprafeței care se prelucrează a piesei (fig. 5.1.4).

În practică se întîlnesc cuțite care au lungimea muchiei așchietoare de 150—200 mm. Această metodă de prelucrare conține în sine o rezervă mare de creștere a productivității.

Numărul de treceri, după cum se vede din relația (5.1.1) influențează în mod direct asupra timpului de bază de mașină. Reducerea lui se poate face în primul rînd prin micșorarea adaosului de prelucrare lăsat pe semifabricat. Deci, reducerea adaosului de prelucrare influențează și asupra costului prin reducerea consumului de metal. De asemenea numărul de treceri poate fi redus făcînd prelucrarea cu adîncimi mari de așchiere, lucru care duce la micșorarea timpului de bază de mașină.

Reducerea timpului de bază de mașină se mai poate face prin mărirea avansului de lucru.

Pentru a se asigura în același timp și o calitate a suprafeței cît mai ridicată, prelucrarea cu avansuri mari se poate face cu cuțite cu muchie lată.

Timpul de bază de mașină mai poate fi redus dacă prelucrarea se face cu viteze mari de așchiere.

În anumite domenii de prelucrare, mărirea vitezei de așchiere asupra reducerii timpului de bază de mașină are o influență mai mică decît mărirea adîncimii de așchiere sau mărirea avansului de lucru.

Sînt însă domenii de prelucrare în care mărirea vitezei de prelucrare duce la o reducere a timpului de bază de mașină și deci la mărirea productivității, ca de exemplu: la rectificarea rapidă viteza de așchiere, $v = 60—70$ m/s este de 2 ori mai mare decît la rectificarea obișnuită, $v = 25—30$ m/s; frezarea rapidă cu capete de frezat armate cu plăcuțe din carburi metalice sau cu plăcuțe mineraloceramice; broșarea rapidă, alezarea rapidă etc. Pentru a putea mări în continuare viteza de așchiere inginerii tehnologi așteaptă din partea inginerilor metalurgiști metale cu calități așchietoare (rezistență sporită la uzură și șocuri) superioare celor existente.

Productivitatea atît a mașinii cît și a muncii manuale poate fi mult ridicată, dacă se face prelucrarea simultană a mai multor piese pe aceeași

Scanned with OKEN Scanner

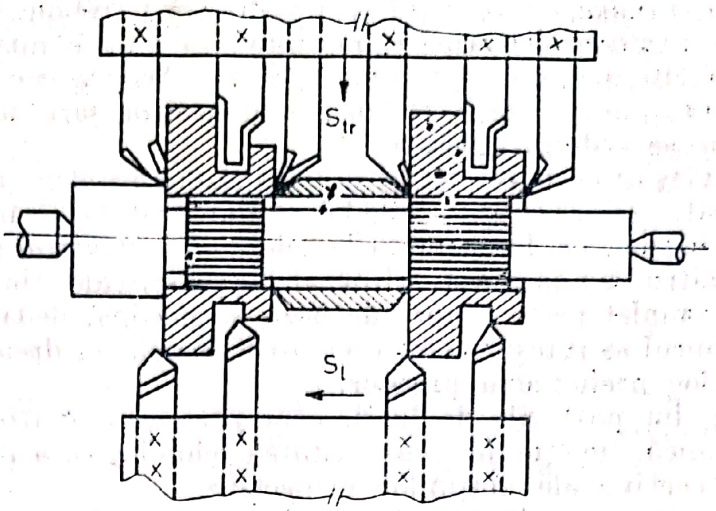


Fig. 5.1.5. Strunjirea simultană a două roți dințate baladoare pe un strung multicuțite.

mașină, la o singură deplasare a sculei sau saniei pe care sînt fixate sculele necesare sau piesele. Un astfel de exemplu este prelucrarea prin strunjire (fig. 5.1.5) pe strunguri multicuțite a două roți dințate baladoare fixate pe un dorn cu caneluri și cu bucșe de distanțare între ele.

Un alt exemplu poate fi dat cel de prelucrare simultană a mai multor piese prin frezare cu cap de frezat sau de prelucrare prin rectificare plană pe mașina de rectificat verticală (fig. 5.1.6, *a*). Dacă pe masa acestor mașini piesele se fixează în serie paralel productivitatea crește și mai mult (fig. 5.1.6, *b*). În acest ultim caz pentru a reduce mărimea cursei mesei cu avans longitudinal de lucru, trebuie ca distanța între capetele pieselor (între coloane) l_d să fie cît mai mică pentru că pe distanța respectivă mașina merge în gol.

După aceeași dispoziție piesele pot fi fixate pe masa mașinii la prelucrarea prin rabotare sau frezare, pe mașini de rabotat, respectiv de frezat portale cu mai mulți suporți portscule sau mai multe capete de frezat.

De asemenea, prelucrarea simultană a mai multor piese într-o singură trecere este posibilă la prelucrarea pe mașini de găurit cu cap multiax. Atît în acest ultim caz cît și în precedentele, piesele care se prelucrează pot să fie de același fel sau diferite, însă fixate în așa fel în dispozitive încît suprafața care se prelucrează a fiecărei piese să fie la același nivel.

O productivitate mai ridicată decît în cazurile precedente se poate realiza dacă timpul auxiliar se suprapune complet peste timpul de bază de ma-

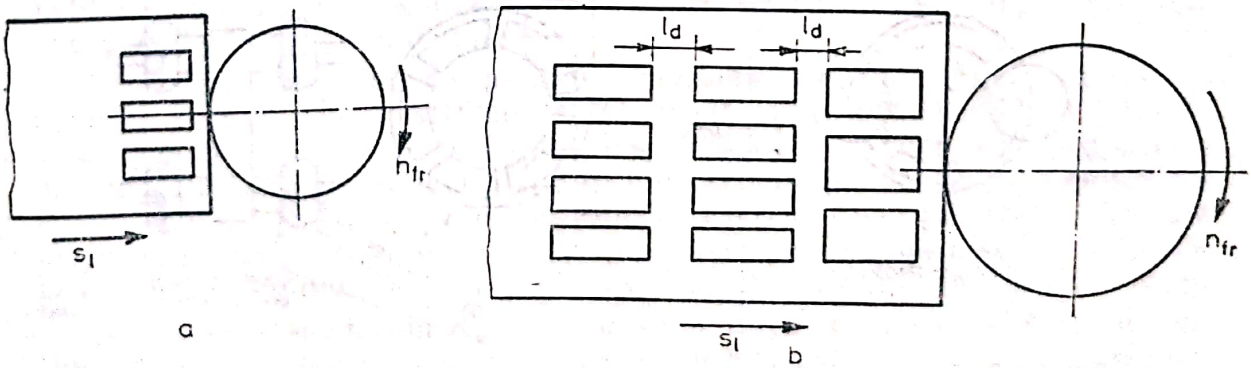


Fig. 5.1.6. Frezarea sau rectificarea pieselor fixate pe masa mașinii:
a — în paralel; *b* — în serie paralel.

șină. În acest caz mașina pe care se face prelucrarea trebuie să fie prevăzută cu un post de încărcare-descărcare, iar masa să aibă o mișcare de rotație continuă, cu o viteză egală cu viteza de avans. Mașina poate fi prevăzută cu unul sau două posturi de lucru (unul pentru degroșare, unul pentru finisare), după cum se vede în figura 5.1.7.

Sînt însă mașini cu masă rotativă sau tambur rotativ cu mișcare intermitentă și cu patru sau șase posturi de lucru și un post de încărcare-descărcare.

La aceste mașini, ca de exemplu la cele de tip *Boulardt* și la strungurile automate cu patru sau șase axe orizontale sau verticale, timpul auxiliar nu se suprapune complet peste timpul de bază de mașină, deoarece în timp ce masa sau tamburul se rotește pentru a aduce piesele în dreptul suporților cu scule, nu are loc prelucrarea pieselor.

La fiecare din posturile de lucru concentrarea operației poate fi mai mare sau mai mică, funcție de complexitatea tehnologică a piesei și de posibilitățile constructive ale mașinilor respective.

Una din căile care asigură ridicarea productivității în măsura cea mai mare este *prelucrarea pe linii tehnologice automate*. După ce prima piesă a parcurs toate operațiile, ciclul de lucru al liniei fiind egal în principiu cu ritmul liniei sau puțin mai mic decît acesta, la capătul liniei tehnologice se obține o piesă gata prelucrată după fiecare perioadă de timp egală cu ritmul respectiv.

Între prelucrarea simultană a mai multor piese pe aceeași mașină la o singură trecere și prelucrarea pe linii tehnologice automate există o analogie. Diferența între ele constă în aceea, că în primul caz după fiecare interval de timp egal cu timpul de lucru pe bucată se obțin atîtea piese cîte se prelucrează simultan la locul respectiv de lucru, pe cîtă vreme la prelucrarea pe linii tehnologice după fiecare interval de timp egal cu timpul de lucru pe bucată, egal cu ritmul liniei, se obține cîte o piesă gata prelucrată la toate cele n operații care se execută pe linie.

Bazat pe această analogie s-ar putea merge mai departe în direcția creșterii productivității și anume, ca la fiecare loc de muncă să se prelucreze simultan mai multe piese în același timp de lucru egal sau mai mic decît ritmul liniei.

Considerăm că liniile tehnologice automate ale viitorului apropiat vor fi bazate pe principiul prezentat mai sus, fiecare loc de muncă din linie fiind format din mașini-unelte agregat pe care se pot prelucra simultan două sau mai multe piese cu un număr q de scule.

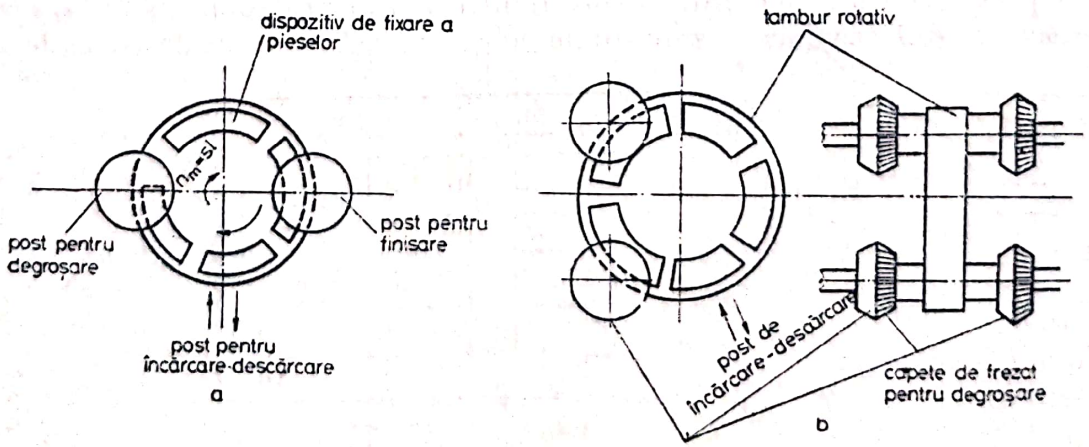


Fig. 5.1.7. Schemă de prelucrare pe mașini cu post de încărcare-descărcare:
a — cu masă orizontală rotativă și cu două posturi de lucru (degroșare și finisare); *b* — cu tambur vertical rotativ și cu cîte două posturi de lucru (degroșare și finisare).

Cele spuse despre liniile tehnologice automate sînt valabile și pentru liniile tehnologice în flux continuu neautomatizate.

În norma tehnică de timp pe bucată se include și cota parte din timpul de pregătire-încheiere, funcție de numărul de bucăți de piese din totalul de piese care se prelucrează pe o mașină reglată la dimensiune.

Reducerea timpului de pregătire-încheiere constituie o resursă bogată de mărire a productivității și reducerii în același timp a costului prelucrării.

Din relația timpului de pregătire-încheiere se vede că acesta este format din:

$$\tau_{pi} = \tau_{sd} + \tau_{pfd} + \tau_{pfs} + \tau_{rd}, \qquad (5.1.2)$$

în care: τ_{sd} este timpul pentru studierea desenului sau a piesei care urmează să fie prelucrată; τ_{pfd} — timpul pentru primirea dispozitivului sau dispozitivelor; τ_{pfs} — timpul pentru primirea sculei sau sculelor; τ_{rd} — timpul pentru reglarea la dimensiune a mașinii.

Ponderea cea mai mare în reducerea timpului de pregătire-încheiere o are timpul necesar pentru reglarea mașinii și de aceea se analizează la urmă.

Timpul pentru studierea desenului și a piesei pentru prelucrarea la o operație este cu atît mai mic cu cît desenul piesei este mai clar și cu cît procesul tehnologic de prelucrare este mai rațional proiectat.

Timpul pentru primirea dispozitivelor și a sculelor se poate reduce dacă lucrul la locul de muncă este astfel organizat încît scoaterea lor din magazie și aducerea la mașină să fie făcută de un muncitor auxiliar.

Timpul pentru reglarea mașinii la dimensiune, este timpul în care se include timpul pentru fixarea dispozitivului sau a dispozitivelor, timpul pentru fixarea sculei sau a sculelor și timpul pentru reglarea propriu-zisă la dimensiune a mașinii. Primii doi timpi pot fi mult micșorați dacă dispozitivele au fost proiectate rațional și dacă sculele și suporții portscule au fost prevăzute cu sisteme de fixare și reglare rapidă.

O cale pentru fixarea și reglarea rapidă a sculelor este aceea de a se face acest lucru în afara mașinii, în suporți speciali care se pot fixa pe mașină foarte simplu și într-un timp foarte scurt. Această cale ar trebui extinsă peste tot în întreprinderile noastre constructoare de mașini.

Timpul pentru reglarea lanțului cinematic al mașinii și pentru reglarea statică și dinamică la dimensiune a mașinii este cu atît mai mare cu cît schema cinematică a mașinii este mai complexă, cu cît numărul de scule este mai mare, respectiv cu cît operația este mai concentrată.

Timpul de reglare se poate reduce cu atît mai mult cu cît gradul de calificare profesională a muncitorului (dacă acesta își face singur reglarea) sau a reglorului este mai ridicat.

Ponderea timpului de pregătire-încheiere asupra normei tehnice de timp pe bucată este cu atît mai mare cu cît numărul de piese din lotul de piese care se prelucrează pe mașina respectivă sau pe linia tehnologică este mai mic. De aceea, în producția de serie mică și individuală utilizarea mașinilor-unelte de mare productivitate și organizarea lucrului pe linii tehnologice este posibilă numai dacă se organizează producția pe baza principiilor tehnologiei de grup sau dacă se utilizează mașini-unelte cu comandă după program.

Reglarea mașinilor-unelte cu comandă după program se face într-un timp mult mai scurt decît a mașinilor-unelte obișnuite și în majoritatea cazurilor prelucrarea se poate face fără dispozitive speciale. Reglarea în general se reduce la întocmirea programului și fixarea sculei. Pentru a se

Scanned with OKEN Scanner

mări și mai mult productivitatea acestor mașini-unelte cu comandă după program, ultimele tipuri au fost prevăzute cu sisteme de schimbare automată a sculelor dispuse într-o „magazie de scule". Sculele sînt codificate, iar schimbarea lor se face după program.

În producția de serie loturile de piese nu pot fi formate oricît de mari deoarece imobilizează fondurile circulante. De aceea se impune, ca funcție de factorul amintit, precum și de alții la fel de importanți, mărimea lotului optim să se facă pe baza unui calcul.

Reducerea la minimum a timpului de reglare a utilajelor dintr-o linie tehnologică automată sau în flux continuu se poate face dacă utilajele respective sînt construite din ansamble și elemente normalizate, fiecare utilaj fiind prevăzut cu sistem de comandă după program, sistem conectat la un post central de comandă după program a întregii linii tehnologice. O astfel de linie tehnologică este foarte elastică și reglarea ei pentru trecerea de la prelucrarea unei piese la prelucrarea altei piese se face într-un timp foarte scurt, ceea ce face ca influența timpului de pregătire-încheiere asupra productivității (asupra normei tehnice de timp pe bucată) să fie minimă.

Din cele prezentate pînă aici a reieșit foarte pregnant în evidență calea actuală de mărire a productivității valabilă în toate tipurile de producție și anume: *automatizarea*.

Automatizarea, pentru a aduce maximum de eficiență economică, trebuie să se facă cu astfel de mijloace care permit realizarea și aplicarea ei într-un timp foarte scurt cu cheltuieli minime recuperabile într-un termen cît mai scurt posibil, avînd în vedere că în etapa actuală și în viitorul apropiat termenul de uzură morală a produselor (mai ales a celor de largă utilizare) se reduce tot mai mult și anume, 1 pînă la 2 ani. Detalii în legătură cu eficiența economică a automatizării sînt date în [91].

O altă cale de mărire a productivității muncii ușor de aplicat atît în producția de unicate, mai ales în industria grea constructoare de mașini, unde timpul de bază de mașină este în general de ordinul zecilor de minute și chiar al orelor, cît și în producția de serie, mai ales de serie mare și de masă unde predomină mașinile-unelte cu ciclu automat de lucru, este *deservirea simultană a mai multor mașini-unelte de un singur muncitor*.

Deoarece numărul de mașini care pot fi deservite simultan de un singur muncitor este în mare măsură influențat, printre altele, de timpul consumat de muncitor cu trecerea de la o mașină la alta, se impune organizarea corespunzătoare a locului de muncă. În acest sens mașinile din grupul de mașini deservite simultan trebuie să fie dispuse într-un circuit închis (fig. 5.1.8) cînd grupul de mașini este mai mare, sau să fie dispuse una în fața celeilalte, însă nu ca în figura 5.1.9, *a*, ci ca în figura 5.1.9, *b*.

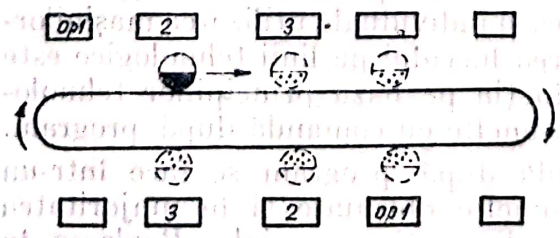


Fig. 5.1.8. Dispunerea unui grup de 6 mașini deservite de un singur muncitor.

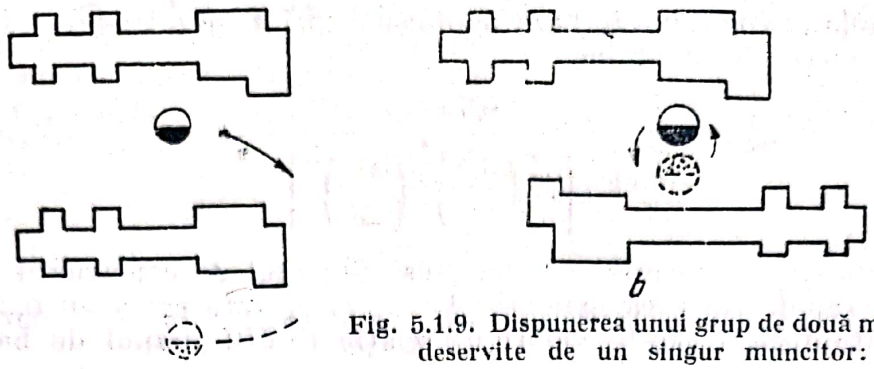


Fig. 5.1.9. Dispunerea unui grup de două mașini deservite de un singur muncitor:
a — dispunerea irațională;
b — dispunerea rațională.

5.1.1. RIDICAREA RIGIDITĂȚII SISTEMULUI TEHNOLOGIC MUPS

Productivitatea prelucrării pe o mașină-unealtă în afară de alți factori este influențată în mare măsură, după cum se vede în cele ce urmează de rigiditatea sistemului tehnologic mașină-unealtă-piesă-sculă-MUPS.

Pentru a se demonstra acest lucru se pleacă de la relația cunoscută a timpului de bază de mașină.

$$\tau_{bm} = \frac{L}{ns}. \tag{5.1.3}$$

Dacă numărul de rotații n pe minut se exprimă în funcție de viteza de așchiere, relația (5.1.3) devine:

$$\tau_{bm} = \frac{\pi dL}{1\,000vs}. \tag{5.1.4}$$

Se știe că viteza de așchiere la rîndul ei este funcție de materialul piesei, al sculei și de geometria acesteia, precum și de condițiile de așchiere (toate acestea exprimate printr-un coeficient C_v), funcție de adîncimea de așchiere t și de avansul de lucru s. Viteza de așchiere este:

$$v = \frac{C_v}{t^{x_v} s^{y_v}}. \tag{5.1.5}$$

Dacă se introduce (5.1.5) în (5.1.4) se obține că timpul de bază de mașină este:

$$\tau_{bm} = \frac{\pi dL t^{x_v} s^{y_v}}{1\,000 C_v s} = \frac{\pi dL t^{x_v}}{1\,000\, C_v s^{1-y_v}}. \tag{5.1.6}$$

În paragraful 4.3.6.1.2 s-a demonstrat că la prelucrarea dintr-o singură trecere avansul de lucru este:

$$s = j^{\frac{4}{3}} \left(\frac{2{,}5}{C_p}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{\Delta p}{\Delta s}\right)^{\frac{4}{3}}. \tag{5.1.7}$$

Dacă în relaţia timpului de bază de maşină (5.1.6) se introduce expresia avansului de lucru, s, se obţine:

$$\tau_{bm} = \frac{\pi d L t^{x_v}}{1\,000 C_v \left[j^{\frac{4}{3}} \left(\frac{2,5}{C_p} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{\Delta p}{\Delta s} \right)^{\frac{4}{3}} \right]}. \tag{5.1.8}$$

La prelucrarea de exemplu a unei piese din oţel de construcţii cu un cuţit din oţel rapid, valoarea exponenţilor x_v şi y_v este egală cu 0,28 respectiv 0,6. Introducînd aceste valori în relaţia (5.1.8) timpul de bază de maşină devine:

$$\tau_{bm} = \frac{\pi d L t^{0.28}}{1\,000 C_v \left[j^{0,53} \left(\frac{2,5}{C_p} \right)^{0,53} \left(\frac{\Delta p}{\Delta s} \right)^{0,53} \right]}. \tag{5.1.9}$$

Dacă se notează,

$$K = \frac{\pi d L t^{0,28}}{1\,000 C_v \left(\frac{2,5}{C_p} \right)^{0,53} \left(\frac{\Delta p}{\Delta s} \right)^{0,53}},$$

atunci relaţia 5.1.9. devine:

$$\tau_{bm} = \frac{K}{j^{0,53}} \approx \frac{K}{\sqrt{j}}. \tag{5.1.10}$$

Din această relaţie se vede că timpul de bază de maşină sau productivitatea prelucrării pe maşina respectivă este invers proporţională cu radicalul rigidităţii sistemului tehnologic *MUPS*. Astfel, dacă se măreşte rigiditatea de patru ori, timpul de bază de maşină se micşorează de două ori, adică productivitatea prelucrării creşte de două ori.

Iată deci, încă o cale de mărire a productivităţii, prin mărirea rigidităţii sistemului tehnologic *MUPS*.

5.1.2. UTILIZAREA MAŞINILOR-UNELTE DE MARE PRODUCTIVITATE

5.1.2.1. Concentrarea operaţiilor pe maşini-unelte agregat şi pe linii thenologice automate. Dacă procesul tehnologic de prelucrare a unei piese este diferenţiat în k operaţii elementare şi dacă timpul de lucru pentru fiecare operaţie elementară executată cu cîte o sculă la cîte o maşină este $t_1, t_2 \ldots t_k$, atunci volumul total de lucru al piesei $\tau_{tot\ a}$ va fi:

$$\tau_{tot\ a} = t_1 + t_2 + \ldots + t_k = \sum_{i=1}^{k} t_i = k t_{med}, \tag{5.1.11}$$

în care t_{med} este timpul mediu de lucru pentru o operaţie elementară.

Operaţiile elementare în cazul concentrării operaţiilor pot fi executate simultan cu cîteva scule simple, cu una combinată sau cu cîteva blocuri de scule, cu unul sau mai mulţi suporţi pe care sînt fixate unu sau mai multe complete de scule (cuţite, freze, burghie etc.) sau cu unul sau mai multe capete multiax la o maşină de găurit sau un agregat.

Scanned with OKEN Scanner

Cu fiecare bloc sau complet de scule se pot executa simultan m operații elementare, formînd astfel o operație complexă sau concentrată. Timpul de lucru necesar executării unei astfel de operații va fi tot t_{med}. Dacă numărul de operații elementare este k, atunci numărul de operații complexe sau concentrate va fi:

$$l = \frac{k}{m}, \tag{5.1.12}$$

iar volumul total de lucru $T_{tot\ c_1}$, se va reduce și el.

$$\tau_{tot\ c_1} = t'_1 + t'_2 + \ldots + t'_l = \sum_{i=1}^{l} t'_i = lt_{med} = \frac{k}{m} t_{med}, \tag{5.1.13}$$

în care $t_1, t_2 \ldots t_l$ este timpul de lucru pentru operațiile complexe de gradul întîi.

Acest fel de operații, exprimate prin relația (5.1.13) ,se numesc *operații concetrate de gradul întîi*. Exemple de astfel de operații concentrate sînt cele care se execută pe strungurile semiautomate multicuțit cu un singur ax și cu un singur suport, pe mașinile de găurit cu cap multiax sau pe mașinile agregat cu un singur cap de forță.

Numărul mediu de operații elementare m unite pentru a fi executate simultan într-o singură operație concentrată caracterizează gradul de concentrare al operației:

$$m = \frac{k}{l}. \tag{5.1.14}$$

Eficacitatea concentrării operațiilor elementare în operații complexe de gradul întîi rezultă din compararea relațiilor (5.1.11) și (5.1.13) care exprimă volumul total de lucru necesar pentru executarea piesei, într-un caz după principiul divizării operațiilor, iar în alt caz după cel al concentrării operațiilor, adică:

$$\frac{\tau_{tot\ d}}{\tau_{tot\ c_1}} = \frac{kt_{med}}{\frac{k}{m} t_{med}} = m,$$

de unde rezultă:

$$\tau_{tot\ c_1} = \frac{\tau_{tot\ d}}{m}. \tag{5.1.15}$$

Se vede deci, că volumul de lucru $\tau_{tot\ d}$ în cazul concentrării de gradul întîi al operațiilor este de m ori mai mic decît volumul total de lucru $\tau_{tot\ d}$ în cazul divizării operațiilor.

Dacă, ca și în cazul precedent se unesc mai multe operații concentrate de gradul întîi, de exemplu n, în cîte o operație mai concentrată, atunci din cele l operații de gradul întîi se vor putea obține $c = \frac{l}{n}$ operații concentrate de gradul doi, care se vor executa pe agregate complexe.

Exemple de astfel de operații concentrate de gradul doi sînt cele care se efectuează pe strungurile semiautomate multicuțite cu doi sau mai mulți suporți sau pe strungurile semiautomate cu mai multe axe și posturi de lucru, pe agregatele de găurit cu două sau mai multe capete de forță dispuse în diferite poziții sau pe semiautomatele cu masă rotativă și mai multe posturi de lucru (exemplu semiautomatul de tip *Boulardt*).

Numărul mediu n de operații concentrate de gradul întîi care se execută pe un agregat caracterizează concentrarea de gradul doi a operațiilor.

Volumul total de lucru necesar pentru executarea piesei la toate aceste feluri de operații concentrate (de gradul doi) este:

$$\tau_{tot\ c2} = t_1'' + t_2'' + \ldots + t_c'' = \sum_{i=1}^{c} t_i'' = ct_{med\ c} = \frac{l}{n} t_{med\ c} = \frac{k}{mn} t_{med\ c}, \quad (5.1.16)$$

în care: t_1'', $t_2'' \ldots + t_c''$ sînt timpii de lucru pentru efectuarea operațiilor complexe de gradul doi; t_{med_c} — timpul mediu de lucru consumat cu efectuarea unei astfel de operații concentrate, care la rîndul lui este egal cu timpul mediu de mașină plus timpul mediu auxiliar.

Se vede că $\tau_{tot\ c2}$ este exprimat funcție de numărul de operații elementare k, numărul de operații elementare m care se execută simultan cu un complet de scule și numărul de grupe n de operații de gradul I care se execută paralel la același agregat multipozițional.

Eficacitatea concentrării de gradul II a operațiilor față de prelucrarea după principiul divizării operațiilor, rezultă din raportul dintre volumul de lucru total în cele două cazuri, adică:

$$\frac{\tau_{tot\ d}}{\tau_{tot\ c_2}} = \frac{k t_{med\ c}}{\frac{k}{mn} t_{med\ c}} = \frac{mnt_{med}}{t_{med\ c}} = mn\varphi, \quad (5.1.17)$$

unde:

$$\varphi = \frac{t_{med}}{t_{med\ c}}.$$

Din analiza relației 5.1.17 se vede că, atunci cînd:

1. $t_{med} = t_{med\ c}$, volumul total de lucru necesar pentru executarea operațiilor concentrate de gradul doi se micșorează de un număr mn ori față de volumul total de lucru necesar pentru executarea operațiilor divizate (elementare);

2. $t_{med} > t_{med\ c}$, reducerea volumului total de lucru $\tau_{tot_{c_2}}$ va fi în mod corespunzător mai mare.

Pentru a se evita întreruperea (oprirea) lucrului tuturor posturilor de lucru la mașinile-unelte agregat cu mai multe posturi de lucru, pe care se execută operații concentrate de gradul doi, toate aceste agregate au prevăzut cîte un *post de încărcare-descărcare*, care permite ca piesa gata prelucrată să fie scoasă din dispozitivul de fixare a piesei și în locul ei să fie fixată altă piesă care urmează să se prelucreze, fără a se întrerupe lucrul la toate celelalte posturi de lucru ale agregatului. Deci, timpul auxiliar consumat cu descărcarea — încărcarea se suprapune peste timpul de mașină și astfel el nu mai influențează mărimea volumului total de muncă la mașină.

Scanned with OKEN Scanner

În acest caz: $t_{med\ c} = t_{med\ cm}$, iar raportul timpilor de lucru al mașinii va fi:

$$\varphi = \frac{t_{med}}{t_{med\ c}} = \frac{t_{med\ m} + t_{med\ a}}{t_{med\ c}} = 1 + \frac{t_{med\ a}}{t_{med\ c}}. \qquad (5.1.18)$$

Deoarece, timpul mediu de lucru t_{med} este egal cu timpul de mașină $t_{med\ m}$ plus timpul auxiliar $t_{med\ a}$, rezultă $t_{med\ m} = t_{med\ c} = t_{med\ cm}$ (pentru că timpul mediu auxiliar este egal cu zero).

La lucrul pe mașini-unelte universale timpul auxiliar este mai mare decît la mașinile agregat (multipoziționale) și compensează timpul de bază de mașină, care este mai mic pentru executarea unei operații elementare. De aceea, se poate scrie că $t_{med_m} = t_{med\ cm}$.

Timpul auxiliar necesar pentru executarea unei operații elementare $t_{med\ a}$ la mașină-unealtă universală se apropie foarte frecvent și este chiar egal cu *timpul de bază de mașină* necesar executării operației concentrate $t_{med\ cm}$ pe un agregat multipozițional, adică se poate scrie $t_{med\ a} \leqslant t_{med\ cm}$. În acest caz se poate scrie relația (5.1.18) mai explicit ca fiind aproximativ egală cu:

$$\varphi = \frac{t_{med}}{t_{med\ c}} = 1 + \frac{t_{med\ a}}{t_{med\ cm}} \simeq 1{,}5 \ldots 2. \qquad (5.1.19)$$

Datorită acestei aproximații, rezultă la lucrul pe mașini agregate cu mai multe poziții de lucru și cu post de descărcare-încărcare în timpul lucrului o reducere a volumului total de muncă față de volumul total de muncă la lucrul pe mașini-unelte universale:

$$\tau_{tot\ d} = \tau_{tot\ c_2}\, \varphi mn \cong \tau_{tot\ c_2} (1,\ 5 \ldots 2) mn. \qquad (5.1.20)$$

Pentru mașinile-unelte cu multiscule care nu au post special de descărcare-încărcare, raportul φ al timpilor de lucru pentru executarea unei operații elementare și pentru executarea unei operații concentrate este:

$$\varphi = \frac{t_{med}}{t_{med\ c}} = \frac{t_{med\ m} + t_{med\ a}}{t_{med\ cm} + t_{med\ c\ a}} \approx 1. \qquad (5.1.21)$$

Reducerea volumului total de muncă la efectuarea pe astfel de mașini a operațiilor concentrate de gradul întîi și doi va fi:

$$\tau_{tot\ d} = \tau_{tot\ c_2}\, \varphi mn = \tau_{tot\ c_2} mn \qquad (5.1.22)$$

adică cu 1,5 ... 2 ori mai mică decît în cazul precedent (cînd mașina agregat are post special de descărcare-încărcare).

Deci, la lucrul pe mașini-unelte prevăzute cu posturi speciale de încărcare-descărcare care permit suprapunerea timpului auxiliar pentru acțiunea de descărcare-încărcare peste timpul de mașină, volumul total de muncă se reduce de 1,5 ... 2 ori față de cel de la mașinile-unelte care nu au astfel de posturi speciale.

În general, concentrarea de gradul întîi și doi a operațiilor reduce volumul total de muncă pentru prelucrare *invers proporțional* cu numărul operațiilor elementare reunite. De asemenea, se reduce în aceeași măsură și timpul auxiliar consumat cu fixarea și desprinderea repetată a piesei față de prelucrarea după principiul divizării operațiilor.

Scanned with OKEN Scanner

Concentrarea operațiilor poate să meargă și mai departe prin reunirea tuturor operațiilor cu gradul doi de concentrare, adică prin reunirea tuturor mașinilor agregat multipoziționale între ele și formînd astfel o *linie tehnologică automată*. În acest caz toate cele k operații elementare se vor executa simultan. Acest fel de concentrare este concentrarea maximă posibilă ce se poate realiza, gradul de concentrare al operațiilor mărindu-se de c ori față de cazul concentrării de gradul doi. Volumul total de muncă pentru prelucrare $\tau_{tot\ c.max}$ față de cazul precedent amintit s-a micșorat de c ori și este:

$$\tau_{tot\ c.max} = \frac{\tau_{tot\ c2}}{c} = \frac{k}{mnc} t_{med\ c} = t_{med\ c}, \qquad (5.1.23)$$

deoarece $k = mnc$. Atunci cînd la fiecare poziție de lucru este fixată o piesă pentru prelucrare, volumul de muncă total pentru prelucrarea piesei este egal cu timpul mediul de lucru de mașină pentru executatea operației elementare.

Atît din relația (5.1.16) cît și din (5.1.23) se vede că pentru o anumită diferențiere a procesului de prelucrare, volumul total de muncă pentru prelucrare $\tau_{tot\ x}$ se va schimba în funcție de gradul de concentrare al operației după o curbă hiperbolică și anume:

$$\tau_{tot\ x} = \frac{k}{mn} t_{med\ c} = \frac{k}{x} tex, \qquad (5.1.24)$$

în care: $\tau_{tot\ x}$ este volumul de muncă pentru prelucrarea cu operații concentrate; $x = mn$; t_{ex} — volumul de muncă pentru executarea unei operații elementare dintr-o operație concentrată cu același grad de concentrare.

Din studiul efectuat în producție asupra unui număr mare de procese tehnologice dintre cele mai simple, precum și dintre cele mai complexe, mai productive, a reieșit că este mai economic a se utiliza mașini-unelte de înaltă productivitate pe care să se realizeze operații cu un grad ridicat de concentrare a operațiilor chiar și atunci cînd nu se poate asigura o încărcare maximă a acestora. Gradul de concentrare al operațiilor $x = m_x$ variază proporțional cu volumul Q al producției, după cum se vede în figura 5.1.10.

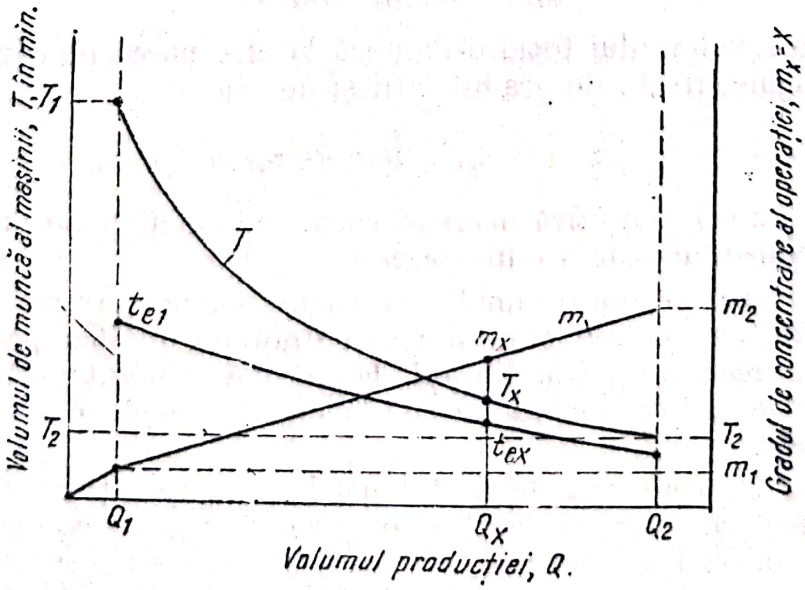


Fig. 5.1.10. Variația volumului de muncă al mașinii și a gradului de concentrare a operației în funcție de volumul producției.

Scanned with OKEN Scanner

Din relația (5.1.18) reiese că timpul mediu de lucru pentru efectuarea unor operații elementare $t_{med} = t_{ex}$ poate să se micșoreze de cel mult două ori cu mărimea gradului de concentrare. De aceea se poate admite ca în funcție de gradul de concentrare m al operației și de mărimea volumului Q de piese, timpul de lucru a unei operații elementare t_{ex} variază de asemenea liniar, cum este reprezentat în aceeași figură.

În lumina ipotezelor prezentate, dacă se cunoaște gradul de concentrare x al operațiilor, numărul operațiilor elementare k și timpul mediu $t_{med\ ex}$, cu ajutorul relației (5.1.24) se poate calcula volumul optim de muncă pentru prelucrarea piesei date, la producția respectivă și se poate construi curba de variație a volumului de muncă în funcție de volumul de producție.

Gradul de concentrare $x = m_x$ și timpul pentru executarea operației elementare t_{ex} pot fi determinate și pe cale analitică din ecuațiile dreptelor, care au următoarea formă:

$$x = m_x = 1 + \xi(m_2 - 1), \tag{5.1.25}$$

deoarece $m_1 = 1$; $t_{ex} = t_{e1} - \xi(t_{e1} - t_{e2})$.

$$\xi = \frac{Q_x - Q_1}{Q_2 - Q_1}. \tag{5.1.26}$$

Valorile lui m_2, t_{e1}, t_{e2}, ξ și k trebuie să fie luate din procesul tehnologic tipizat al clasei din care face parte piesa respectivă. Valoarea lui k poate fi stabilită după procesul tehnologic de prelucrare și desenul piesei.

În toate relațiile deduse pînă aici s-a luat timpul de lucru mediu pentru executarea operației elementare. Timpul real de lucru pentru operația elementară oscilează însă între t_{min} și t_{max}. În acest caz timpul de lucru real necesar pentru executarea operațiilor concentrate de toate gradele este egal cu timpul de lucru cel mai mare necesar executării uneia din operațiile elementare. De aceea, în relațiile deduse pînă aici, trebuie să se schimbe timpul mediu de lucru t_{med} cu timpul de lucru maxim t_{max}.

Înlocuind deci pe t_{med} cu t_{max} în relațiile (5.1.13) și (5.1.16) se obțin următoarele relații pentru calculul timpului total de lucru pentru prelucrarea unei piese după un proces tehnologic cu operații concentrate de gradul întîi, respectiv doi:

$$\tau_{tot\ c1} = \frac{k}{m} t_{max}; \tag{5.1.27}$$

$$\tau_{tot\ c2} = \frac{k}{mn} t_{max\ c}, \tag{5.1.28}$$

iar pentru cazul concentrării maxime, adică la lucrul pe linii tehnologice automate, timpul total de lucru pentru executarea unei piese va fi egal cu timpul de lucru maxim t_{max} necesar pentru executarea uneia din operațiile elementare $t_{c\ max}$:

$$\tau_{tot\ c\ max} = t_{e\ max\ c}. \tag{5.1.29}$$

Din aceste ultime relații rezultă, că timpul de lucru al operațiilor elementare trebuie să oscileze în limite foarte restrînse deoarece mărirea timpului de lucru numai a uneia din operațiile elementare mărește la rîndul lui timpul total de lucru al piesei la prelucrarea în operații concentrate.

Scanned with OKEN Scanner

Timpul maxim de lucru pentru o operație elementară poate fi redus în cazul concentrării de gradul doi și a concentrării maxime dacă la poziția respectivă de lucru a agregatului se va lucra în loc de o singură piesă un număr b de piese. În acest caz timpul de lucru la poziția respectivă t_p va fi:

$$t_p = \frac{t_{max}}{b}. \tag{5.1.30}$$

5.1.3. PRELUCRAREA PE MAȘINI-UNELTE CU COMANDĂ NUMERICĂ

5.1.3.1. Programarea mașinilor-unelte cu comandă numerică. În cazul în care în planul de operații al procesului tehnologic de prelucrare a unei piese este prevăzut ca una din operații să se execute pe o mașină-unealtă cu comandă numerică (MUCN), planul de operații, sau o copie a acestuia este trimis, împreună cu desenul piesei respective, în atelierul de „Programare a MUCN".

În acest atelier tehnologul specialist elaborează programul cu instrucțiunile de comandă MUCN pentru executarea operației respective. Întocmirea programului de comandă pentru MUCN se poate face manual sau cu ajutorul calculatorului electronic (asistată de calculatorul electronic).

În cazul în care întocmirea programului se face manual, toate instrucțiunile de comandă a MUCN se înscriu într-un tabel denumit „Tabel Program-Piesă", ca cel din figura 5.1.11. În acest tabel instrucțiunile de comandă se înscriu într-un limbaj special, denumit „Limbaj Mașină-unealtă".

Conținutul Tabelului Program-Piesă este apoi înregistrat pe un purtător de program, care poate fi o bandă perforată, o bandă magnetică sau de cinematograf sau o cartelă.

Înregistrarea instrucțiunilor din Tabelul Program-Piesă pe purtătorul de program se face prin intermediul unui cod denumit Cod-Mașină. Purtătorul de program se numește Program-Mașină.

Atunci cînd întocmirea programului de comandă a MUCN se face cu ajutorul calculatorului electronic, instrucțiunile de comandă se înscriu într-un document denumit „Fișa Program-Piesă" într-un limbaj specific mașinilor-unelte, denumit „Limbaj-calculator".

Limbajul utilizat în Fișa Program-Piesă folosește cuvinte de origine anglo-saxonă, ca de exemplu: POINT (punct), LINE (linie), CENTER (centru)

TABEL PROGRAM-PIESĂ

Data.....
Întocmit.....
Verificat.....

Piesa Nr.....
Denumirea...
Mașina.....
Format:

N... G.. G.. X, Y, Z± ..... F... S.. T... M... M..

N	G	G	X	Y	Z	F	S	T	M	M	Observații
N001	G00	G54	x001700				S09	T011	M04		Poziționare pe x în A

Fig. 5.1.11. „Tabel program-piesă".

Scanned with OKEN Scanner

și altele. Cuvintele respective sînt urmate de cifre care reprezintă coordonate lungimi etc. De exemplu, POINT 37,85 indică, că punctul PTA are coordonata $X = 37$ mm, iar coordonata $Y = 85$ mm.

Fișa Program-Piesă este utilizată pentru elaborarea programului pentru calculatorul electronic, sub forma de cartele perforate și anume cîte o cartelă pentru fiecare rînd din Fișa Program-Piesă.

Pachetul de cartele se introduce în calculatorul electronic și acesta întocmește Programul-Mașină sub forma unei benzi perforate identică cu banda perforată elaborată manual.

5.1.3.1.1. *Algoritmul de elaborare manuală a programului de comandă a MUCN.* Algoritmul de elaborare a programului de comandă a MUCN prevede ca aceasta să se facă în următoarele etape:

Etapa 1.

— studiul desenului piesei pentru a se cunoaște condițiile tehnice, care trebuie asigurate în urma prelucrării (precizie dimensională, rugozitate a suprafeței prelucrate);

— divizarea operației în faze;

— calculul numărului de treceri pentru fiecare fază, funcție de mărimea adaosului de prelucrare și de mărimea maximă a adîncimii de așchiere;

— calculul turației piesei pentru fiecare fază, funcție de viteza optimă de așchiere prevăzută în planul de operații;

— stabilirea și codificarea sculelor corespunzătoare pentru prelucrarea suprafeței/suprafețelor în fiecare fază;

— alegerea MUCN din parcul existent de utilaje.

Etapa 2

— identificarea axelor de coordonate și stabilirea originilor;

— stabilirea traiectoriei fiecărei scule în cadrul fiecărei faze și treceri;

— calculul lungimii traiectoriei față de originea sistemului de coordonate (control);

— întocmirea schemei de reglaj a sculelor la cotele calculate.

Etapa 3

— întocmirea „Tabelului Program-Piesă", în care se trec toate informațiile și comenzile codificate pentru executarea fiecărei faze sau treceri;

— tipărirea programului și perforarea benzii;

— verificarea programului frază cu frază pe mașina-unealtă și pe piesa de probă;

— modificarea și optimizarea programului dacă este cazul;

— copierea benzii și a textului pentru atelier și arhivă;

— arhivarea documentației elaborate.

5.1.3.1.2. *Axele de coordonate ale MUCN.* Conform standardului din țara noastră STAS 8902-71, acceptat după strandardul de recomandare ISO-R841 din 1968, la mașinile-unelte cu comandă numerică sînt prevăzute două sisteme de referință, unul în raport cu care se definesc mișcările sculei ($OXYZ$) și altul față de care se raportează mișcările piesei care se prelucrează ($O'X'Y'Z'$). Aceste două sisteme de referință sînt sisteme de axe triortogonale drepte cu origini arbitrare.

Direcția axei Z coincide cu axa arborelui principal, sensul pozitiv al acesteia (+), fiind în sensul în care distanța dintre sculă și piesă crește (indi-

Scanned with OKEN Scanner

ferent dacă mișcarea de deplasare este executată de piesă, de sculă sau de ambele.

Excepție la această regulă fac următoarele două mașini: — mașina de rectificat cilindric la care axa Z coincide cu axa de rotație a piesei și nu cu axa de rotație a discului de rectificat; — mașina de rabotat la care axa Z este perpendiculară pe masa mașinii.

Celelalte două axe X și Y formează împreună cu axa Z un triedru rectangular drept (axa X este perpendiculară pe axa Z, în planul orizontal care trece prin axa arborelui principal al mașinii-unelte, iar axa Y este perpendiculară pe X și Z).

Axele de coordonate ale piesei X', Y', Z' sînt paralele cu cele ale sistemului mașinii-unelte, sensul pozitiv al axei Z' definindu-se la fel cu cel al axei Z.

Mișcările de rotație ale elementelor mașinii-unelte și ale piesei în jurul axelor X, Y, Z respectiv X', Y', Z', se notează cu A, B, C, respectiv A', B', C'. Pe lîngă mișcările de rotație primare (A, B, C sau A', B', C') pot apărea și altele în alte plane, notate cu D și E.

Axele de coordonate X, Y, Z și A, B, C se numesc axe de *coordonate primare*. Există posibilitatea ca unele mașini-unelte, ca de exemplu: mașinile de rabotat cu masă mobilă, strungurile carusel cu doi montanți ș.a. să aibă multe ansambluri sau elemente mobile cărora li se atașează de asemenea un sistem de axe de coordonate U, V și W, paralele sau nu cu X, Y, Z, numite axe de *coordonate secundare*, sau P, Q, R — *axe terțiare*.

5.1.3.1.3. *Adrese geometrice.* Prin adresele geometrice X, Y, Z, P, Q, R etc., se codifică *informațiile de deplasare* liniară ale subansamblurilor mașinii-unelte în raport cu sistemele de referință, iar deplasările unghiulare prin adresele A, B, C, D, E. Coordonatele centrelor cercurilor, în cazul interpolării circulare se codifică prin adresele I, J și K corespunzătoare axelor X, Y, Z.

Adresele respective sînt însoțite de numere, care exprimă coordonatele, respectiv cotele de deplasare, precum și semnul lor. Ele se scriu fără virgula care desparte partea zecimală de cea întreagă a cotei. Astfel coordonata $X = +3456{,}789$ se scrie în Tabelul Program-Piesă sub forma $X + 3456789$. Numărul de cifre care se poate programa are o importanță foarte mare, deoarece prin numărul de zecimale se determină precizia de prelucrare (zecimi, sutimi sau miimi de mm), iar prin numărul întreg se exprimă capacitatea mașinii de a prelucra pe anumite lungimi (cm, dm, m sau chiar zeci de metri).

Numerele care însoțesc adresele trebuie să se completeze cu 0 pentru ca fiecare din ele să conțină același număr de ranguri (ordine).

Astfel, pentru o aparatură care permite programarea cotelor cu 6 cifre din care două zecimale, ele se programează astfel:

$X = +\ 3456{,}78$ mm	$X + 345678$
$X = -\ 456{,}78$ mm	$X - 045678$
$X = +\ 6{,}78$ mm	$X + 000678$

5.1.3.1.4. *Adrese tehnologice.* Prin adresele tehnologice se codifică comenzile prin care se obțin vitezele de avans F(Feed), turațiile S (Speed) corespunzătoare vitezelor de așchiere, precum și sculele necesare prelucrării T (Tool).

Adresa F. Adresa F este urmată de una pînă la patru cifre, funcție de modul de codificare a vitezei de avans. Actualmente se utilizează următoarele cinci moduri de codificare, denumite: — directă; — simbolică; — în progresie aritmetică; — în progresie geometrică; — în timp reciproc.

Scanned with OKEN Scanner

Codificarea directă constă în scrierea directă după adresa *F* a numărului care reprezintă mărimea vitezei de avans, în $\frac{mm}{min}$, de exemplu:

$v_a = 1{,}50$ mm/min se codifică: F150
$v_a = 150{,}5$ mm/min se codifică: F1505

Numărul de cifre după adresa F fiind variabil se îngreuiază mult controlul privind greşelile care pot să apară la transpunerea comenzii pe banda perforată (banda Program-Maşină).

Codificarea simbolică se realizează prin adăugarea după adresa F a una sau două cifre în ordinea crescătoare a mărimii vitezelor de avans din cutia de avansuri a maşinii-unelte. De exemplu:

$v_a = 22{,}4$ mm/min se codifică: F1 sau F01
$v_a = 28$ mm/min se codifică: F2 sau F02
$v_a = 35{,}5$ mm/min se codifică: F3 sau F03

Atunci cînd la maşina-unealtă respectivă se pot realiza două game de viteze de avansuri (gama a doua fiind multiplă primei) se foloseşte următoarea codificare:

Gama I	*Gama II*
$v_a = 22{,}4$ mm/min: F11	$v_a = 89{,}6$ mm/min: F21
$v_a = 28$ mm/min: F12;	$v_a = 112$ mm/min: F22
$v_a = 35{,}5$ mm/min: F13.	$v_a = 142$ mm/min: F23

Codificarea este simplă, deoarece oricare viteză de avans se codifică totdeauna prin două trei semne, lucru care uşurează mult controlul benzii perforate. Codificarea respectivă are şi un dezavantaj şi anume acela că nu este universală, întrucît conţinutul gamei de viteze de avans este diferit de la o maşină la alta.

Codificarea în progresie aritmetică a fost universalizată de către ISO. Ea prevede ca prima cifră după adresa F să fie cea rezultată din însumarea la cifra 3 a numărului de cifre care formează partea întreagă a mărimii codificate, iar următoarele două cifre ale codului să fie primele două cifre ale mărimii codificate.

Fie de exemplu viteza de avans egală cu 154,6 mm/min. Prima cifră a codului va fi $3 + 3 = 6$. Cifra 3 a rezultat din însumarea următoarelor 3 cifre care formează partea întreagă a mărimii vitezei de avans (1, 5, 4). La cifra de cod 6 se adaugă primele două cifre din partea întreagă a numărului, adică 15. Viteza de avans dată va avea următorul cod: F615.

De asemenea,

$v_a = 1234{,}5$ mm/min, are codul F712;
$v_a = 67{,}12$ mm/min, are codul F567;
$v_a = 1{,}23$ mm/min, are codul F412;
$v_a = 0{,}12$ mm/min, are codul F312;
$v_a = 0{,}034$ mm/min, are codul F234.

Codul F212 a rezultat astfel: $3 + 0 = 3$ la care s-au adăugat „următoarele două cifre a mărimii codificate" care sînt 12. Pentru codul următor, prima cifră $2 = 3 + (-1)$.

ISO recomandă folosirea acestei codificări atît sub forma arătată, cît şi cu posibilitatea de a adăuga după prima cifră de cod primele 3 şi chiar 4 cifre ale mărimii codificate. Astfel, viteza de avans de 1234,5 mm/min se va codifica: cu patru cifre: F7123, iar cu cinci cifre: F71234.

Scanned with OKEN Scanner

Codificarea în progresie geometrică, constă în codificarea vitezei de avans prin două cifre, care fac parte din seria geometrică R20, avînd raţia $\varphi_{20} = 1{,}12$, serie folosită în mod curent în ordonarea turaţiilor şi a avansurilor maşinilor-unelte.

În tabelul 5.1.1 sînt date adresele S şi F după ISO codificate în progresie geometrică.

Tabelul 5.1.1

Codificarea turaţiilor (S) şi a vitezelor de avans (F)

Cod	Mărime codificată	Cod	Mărime codificată	Cod	Mărime codificată
00	Stop	34	50,0	68	2 500
01	1,12	35	56,0	69	2 800
02	1,25	36	63,0	70	3 150
03	1,40	37	71,0	71	3 550
04	1,60	38	80,0	72	4 000
05	1,80	39	90,0	73	4 500
06	2,00	40	100	74	5 000
07	2,24	41	112	75	5 600
08	2,50	42	125	76	6 300
09	2,80	43	140	77	7 100
10	3,15	44	160	78	8 000
11	3,55	45	180	79	9 000
12	4,00	46	200	80	11 000
13	4,50	47	244	81	11 200
14	5,00	48	250	82	12 500
15	5,60	49	280	83	14 000
16	6,30	50	315	84	16 000
17	7,10	51	355	85	18 000
18	8,00	52	400	86	20 000
19	9,00	53	450	87	22 400
20	10,0	54	500	88	25 000
21	11,2	55	560	89	28 000
22	12,5	56	630	90	31 500
23	14,0	57	710	91	35 500
24	16,0	58	800	92	40 000
25	18,0	59	900	93	45 000
26	20,0	60	1 000	94	50 000
27	22,4	61	1 120	95	56 000
28	25,0	62	1 250	96	63 000
29	28,0	63	1 400	97	71 000
30	31,5	64	1 600	98	80 000
31	35,3	65	1 800	99	Rapid
32	45,0	66	2 000		
33	45,0	67	2 240		

Din tabelul prezentat se observă, că prin codul F00 se comandă oprirea mişcării de avans, iar prin F99 se comandă deplasarea rapidă. Mărimea acestei deplasări nu are nici o legătură cu cifrele din tabel, ea fiind funcţie de cinematica fiecărei maşini-unelte.

Codificarea în timp reciproc. Numărul care se ataşează adresei F reprezintă timpul^{-1} exprimat în minute^{-1} necesar deplasării cu viteza de avans v_a pe distanţa programată, exprimată în mm.

Astfel, dacă $v_a = 55$ mm/min, iar $l = 100$ mm, atunci într-o notaţie cu patru ranguri de avans se codifică F0550.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.1.2 (continuare)

G 31 Interpolare circulară CCLW (dimensiuni mici);
G 32 Rezervă;
G 33 Filetare cu pas constant;
G 34 Filetare cu pas crescător;
G 35 Filetare cu pas descrescător;
G 36
G 39 Rezerve operații de control;
G 40 Anularea corijării razei sculei;
G 41 Corijarea razei sculei pe stinga;
G 42 Corijarea razei sculei pe dreapta;
G 43 Corijarea razei sculei pozitivă (C);
G 44 Corijarea razei sculei negativă (C);
G 45 Corijarea razei sculei $X+/Y+$ (C);
G 46 Corijarea razei sculei $X+/Y-$ (C);
G 47 Corijarea razei sculei $X-/Y-$ (C);
G 48 Corijarea razei sculei $X-/Y+$ (C);
G 49 Corijarea razei sculei $X-0/Y+$ (C);
G 50 Corijarea razei sculei $X-0/Y-$ (C);
G 51 Corijarea razei sculei $X+/Y=0$ (C);
G 52 Corijarea razei sculei $X-/X=0$ (C);
G 53 Anularea shifting-ului;
G 54 Shifting pe axa X;
G 55 Shifting pe axa Y;
G 56 Shifting pe axa Z;
G 57 Shifting în planul XY;
G 58 Shifting în planul XZ;
G 59 Shifting în planul YZ;
G 60 Poziționare exactă Nr. 1;
G 61 Poziționare exactă Nr. 2;
G 62 Blocarea poziționării;
G 63 Temporizare;
G 64 Modificarea turației sau a avansului (D);
G 65
G 79 Rezerve pentru poziționare
G 80 Anularea ciclului;
G 81 Ciclul 1;
G 82 Ciclul 2;
G 83 Ciclul 3;
G 84 Ciclul 4;
G 85 Ciclul 5;
G 86 Ciclul 6;
G 87 Ciclul 7;
G 88 Ciclul 8;
G 89 Ciclul 9;
G 90 Programare în coordonate absolute;
G 91 Programare în coordonate relative;
G 92 Absolut / schimbarea axelor în planul XY;
G 93 Incremental/ schimbarea axelor în planul XY;
G 94 Fără oglindirea imaginii (cadranul I);
G 95 Imaginea oglindită a lui X față de axa Y (cadranul II);
G 96 Imagine oglindită a lui Y față de axa X (Cadranul IV);
G 97 Imagine oglindită a lui X față de axele X și Y (cadranul III);
G 98 Imagine oglindită a axelor programate;
G 99 Rezervă

Observație: — Literele din paranteză indică că acțiunea respectivă
(C) — se menține pînă la o comandă ulterioară de anulare;
(D) — este anulată automat la apariția blocului următor.

Scanned with OKEN Scanner

Adresa S, urmată de un grup de cifre, este folosită pentru codificarea turațiilor arborelui principal al mașinii-unelte. Ea poate fi exprimată prin una din metodele de codificare: — directă; simbolică; — în progresie geometrică, metode similare celor folosite pentru codificarea vitezelor de avans.

Astfel, de exemplu:

Codificarea directă

$n = 200$ rot/min se codifică: S200

$n = 1250$ rot/min se codifică: S1250

Codificarea simbolică

$n = 18$ rot/min se codifică: S1 sau S01

$n = 22$ rot/min se codifică: S2 sau S02

Codificarea în progresie geometrică

$n = 200$ rot/min se codifică S46

$n = 1250$ rot/min se codifică: S62

STOP se codifică: S00

Adresa T, urmată de o singură cifră codifică numărul sculelor din capul revolver al unei mașini-unelte cu cap revolver. Sculele din magazinul de scule al unui centru de prelucrare se codifică cu adresa T urmată de un grup de două cifre, deoarece un magazin de scule nu are mai multe de 99 scule.

5.1.3.1.5. *Adresele preparatorii (G) și auxiliare sau ajutătoare (M).* Adresele preparatorii și auxiliare sînt utilizate pentru programarea celor mai diverse mișcări sau funcțiuni ale mașinilor-unelte, de aceea nu toate sînt necesare oricărei mașini-unelte.

Aceste adrese sînt însoțite de cîte un număr format din două cifre și au semnificațiile din tabelele 5.1.2 și 5.1.3, corespunzătoare standardului ISOR-1056 din 1969.

Tabelul 5.1.2

Adrese G

G 00 Poziționare punct cu punct;
G 01 Interpolare liniară (dimensiuni medii);
G 02 Interpolare circulară CLW (dimensiuni medii);
G 03 Interpolare circulară CCLW (dimensiuni medii);
G 04 Oprire (D);
G 05 Prindere (D);
G 06 Interpolare parabolică;
G 07 Rezervă;
G 08 Accelerare; (D);
G 09 Decelerare (D);
G 10 Interpolare liniară (dimensiuni mari);
G 11 Interpolare liniară (dimensiuni mici);
G 12 Interpolare tridimensională;
G 13
G 16 Selectarea axelor;
G 17 Selectare în planul *XY*;
G 18 Selectare în planul *ZN*;
G 19 Selectare în planul *YZ*;
G 20 Interpolare circulară CLW (dimensiuni mari);
G 21 Interpolare circulară CLW (dimensiuni mici);
G 22 Cuplarea mișcării pozitive;
G 23 Cuplarea mișcării negative;
G 24
G 29 Rezerve
G 30 Interpolare circulară CCLW (dimensiuni mari);

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.1.3

ADRESE M
(I.S.O.)
Funcţii auxiliare

M 00 Oprirea programului (B, D);
M 01 Oprire la alegere (B, D);
M 02 Sfîrşitul programului (B, D);
M 03 Ax principal, rotaţie CLW (A, C);
M 04 Ax principal, rotaţie CCLW (A, C);
M 05 Oprire ax principal (B, C);
M 06 Schimbarea sculei (D);
M 07 Lichid de răcire Nr. 2 (A, C);
M 08 Lichid de răcire Nr, 1 (C, C);
M 09 Oprire lichid de răcire (B, C);
M 10 Stringere (C);
M 11 Desfacere (C);
M 12 Rezervă;
M 13 = M 03 + M 08 (A. C);
M 14 = M 04 + M 08 (A, C);
M 15 Mişcare pozitivă (A, D);
M 16 Mişcare negativă (A, D);
M 17 Rezervă;
M 18 Rezervă;
M 19
M 20 Oprirea orientată a axului principal;
⋮ Rezerve
M 29
M 30 Sfîrşitul benzii (B, D);
M 31 Blocare temporară (D);
M 32
⋮ Viteză de aşchiere constantă (A, C);
M 35
M 36 Avansuri, gama 1 (A, C);
M 37 Avansuri, gama 2 (A, C);
M 38 Turaţii, gama 1 (A, C);
M 39 Turaţii, gama 2 (A, C);
M 40
⋮ Schimbarea roţilor
M 45
M 46
⋮ Rezerve, operaţii control;
M 49
M 50 Lichid răcire Nr. 3 (A, C);
M 51 Lichid răcire Nr. 4 (A, C);
M 52
⋮ Rezerve;
M 54
M 55 Deplasare liniară, sculă. Poz. 1 (A, C);
M 56 Deplasare liniară, sculă. Poz. 2 (A, C);
M 57
⋮ Rezerve;
M 59
M 60 Schimbarea piesei (B, D);
M 61 Deplasare liniară, piesă. Poz. 1 (A, C);
M 62 Deplasare liniară, piesă. Poz. 2 (A, C);
M 63
⋮ Rezerve;
M 67
M 68 Fixarea piesei (C);
M 69 Eliberarea piesei (D);
M 70 Rezervă;
M 71 Rotire piesă. Poz. 1 (A, C);

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.1.3 (continuare)

M 72	Rotire piesă. Poz. 2 (A, C);
M 73	
⋮	Rezerve;
M 77	
M 78	Fixarea piesei (B, C);
M 79	Eliberarea mesei (B, C);
M 80	
⋮	Rezerve.
M 99	

Observații: Literele din paranteză indică, că acțiunea respectivă:
(A) — începe simultan cu mișcarea comandată;
(B) — începe după terminarea mișcării comandate;
(C) — se menține pînă la o comandă ulterioară de anulare;
(D) — este anulată automat la apariția blocului următor.

Utilizarea adreselor depinde în mare măsură și de modul în care acționează în timp comenzile date de acestea. Astfel se disting patru moduri de acționare în timp a comenzilor date prin aceste adrese:

A — acțiunea comandată începe simultan cu mișcarea comandată;

B — acțiunea comandată începe după terminarea mișcării comandate;

C — acțiunea comandată se menține pînă la o comandă ulterioară de anulare a ei;

D — acțiunea comandată afectează numai blocul în care se află. La apariția blocului următor ea este anulată.

În tabelele 5.1.2 și 5.1.3 aceste comportări ale adreselor sînt marcate cu literele *A*, *B*, *C*, *D* în paranteze corespunzător acțiunilor arătate mai sus.

Astfel de exemplu (v. tab. 5.1.3), prin adresa MO3—(A;C)—Ax principal, rotație în sensul orar, acțiunea începe simultan cu mișcarea comandată (A) și se menține (C) pînă la o comandă ulterioară, comandă care se dă prin adresa MO5—(B;C), care la rîndul său începe la terminarea mișcării (B) comandate în blocul respectiv și se menține (C) pînă la o nouă comandă.

Adresele G

Pentru a se înțelege mai ușor modul de utilizare a adreselor G se prezintă în cele ce urmează cîteva explicații:

— Mișcarea de rotație pentru executarea unui arc de cerc, în sens orar (în sensul de rotație ale acelor de ceas) se notează prin CLW (CLok Wise). Arcul de cerc se generează prin mișcările pe două axe de coordonate;

— Mișcarea de rotație pentru executarea unui arc de cerc în sens antiorar se notează cu CCLW Conter-CLok Wise);

— Dimensiuni medii, mari și mici. Aceste noțiuni se folosesc la interpolarea pentru lungimi și raze medii (cuprinse între 100 ... 10000 mm), mari (cele $>$ 1000 mm) și mici ($<$ 100 mm);

— Prin adresele G41 și G42 se comandă executarea compensării razei sculei pe stînga respectiv pe dreapta.

Prin compensarea razei sculei se înțelege deplasarea acesteia pe normala la traiectorie, pentru eliminarea diferenței dintre traiectoria necesară și programată. Această diferență poate să apară datorită uzurii sculei sau datorită micșorării dimensiunii acesteia în urma reascuțirii. Compensarea pe stînga

Scanned with OKEN Scanner

înseamnă compensarea pe partea stîngă a piesei în sensul de deplasare pe traiectoria sculei.

— Prin adresele G54—G59 schifting pe axa X sau Z. Schifting semnifică deplasarea liniară pe una sau două axe, în cazul comenzilor de poziționare. Aceste adrese se pot folosi de exemplu la prelucrarea pendulară, la compensarea lungimii sculei la găurire sau la rectificare (pe axa Z), la compensarea poziției cuțitului la strunjire (pe axele X și Z);

— Adresa G63 comandă „temporizare", care constă în menținerea arborelui principal în mișcare de rotație o perioadă scurtă de timp, după atingerea poziției. Se folosește la prelucrarea alezajelor înfundate, la lamare etc., cînd se urmărește obținerea unei calități superioare a suprafeței prelucrate;

— Adresa G80 comandă anularea ciclurilor comandate prin adresele G81—G89;

— Adresele G81—G89 comandă diverse cicluri de prelucrare a alezajelor prin burghiere, alezare, filetare și anume:

— adresa G81 comandă mișcare de avans cu retragere rapidă după prelucrare;

— adresa G82 comandă mișcare de avans cu temporizare la sfîrșitul cursei; retragere rapidă cu scula în mișcare de rotație;

— adresa G83 comandă deplasare cu avans intermitent și retragere rapidă a sculei (în cazul burghierii sau alezării alezajelor adînci);

— adresa G84 comandă deplasarea arborelui principal pentru filetarea cu tarodul și înapoierea sa prin rotire în sens invers;

— adresa G85 comandă efectuarea alezării cu viteză de avans în ambele sensuri;

— adresa G86 comandă pornirea arborelui principal, pentru prelucrarea prin alezare și apoi oprirea mișcării de rotație și retragerea rapidă cu arborele principal oprit;

— adresa G87 comandă pornirea arborelui principal, alezare, oprirea mișcării de rotație a arborelui principal și retragerea lui manuală;

— adresa G88 comandă aceleași mișcări ca adresa precedentă, cu continuarea rotirii sculei un timp dat (temporizare) pentru îmbunătățirea calității suprafeței. Retragere manuală;

— adresa G89 comandă aceleași mișcări ca adresa G82, însă cu retragerea cu viteză de avans de lucru;

— Adresele G90 și G91 comandă programarea în coordonate absolute sau relative. În primul caz se referă la coordonatele unui punct în raport cu originea sistemului de coordonate și în al doilea caz în raport cu coordonatele punctului precedent considerat ca punct de origine.

Adresele M

Semnificația adreselor M este dată în tabelul 5.1.3. Explicații asupra unor adrese M pentru a se înțelege mai ușor semnificația lor:

— Adresele M10 comandă blocarea sănii lor mașinii, a arborelui principal sau prinderea piesei pentru prelucrare;

— Adresele M15 și M16 comandă selectarea sensului mișcării pozitive sau negative cu avans rapid sau de lucru;

— Adresele M32—M35 comandă realizarea unei viteze constante de așchiere prin variația turației;

— Adresele M36 și M37 comandă trecerea de la o gamă de viteze de avansuri la alta;

— Adresele M55 și M56 comandă deplasarea liniară a sculei în poziția de indexare (schifting);

Scanned with OKEN Scanner

— Adresele M61 și M62 comandă deplasarea liniară a piesei în poziția de indexare;

— Adresele M71 și M72 comandă deplasarea unghiulară a piesei în poziția de indexare. Se folosește la mașinile-unelte cu mese rotative.

Adresele G și M din tabelele 5.1.2 și 5.1.3 fiind recomandate de ISO, nu sînt obligatorii pentru toți producătorii de aparatură de comandă și ca atare sînt mașini-unelte cu comandă numerică la care nu se întîlnesc toate adresele respective.

5.1.3.1.6. *Alte adrese utilizate la programarea manuală.* La programarea manuală se mai pot utiliza:

Adresa N se folosește pentru indicarea numărului blocului (a frazei sau secvenței de lucru). Ea se notează cu trei cifre, de ex.: NOO1, NOO2, ...;

Adresa H se folosește în locul adresei N, în blocul în care este necesară schimbarea sculei, în cazul în care mașina-unealtă nu are posibilitatea schimbării automate a sculei;

Adresele Tab (Tabelar) și *EB* (End of Blok) se folosesc în codul EIA PC-8B;

Adresele HT și LF (Line Feed) în codul ISO, avînd aceleași semnificații și anume:

Tab și respectiv *EB* despart comenzile de pe banda perforată, respectiv sfîrșitul unui rînd sau a unei fraze în tabelul Program-Piesă.

La trecerea de la o secvență de lucru, respectiv de la o fază a operației, la alta, banda perforată se deplasează pînă în momentul în care una din adresele de mai sus este citită de cititor, cînd banda se oprește;

Adresa % (procentul) se folosește în codul ISO și comandă începutul programului. Ea este urmată de adresa LF. Comanda se scrie astfel % LF;

Adresa: (semnul împărțirii) indică primul bloc. Ea este urmată de numărul primului bloc fără N sau H. Se scrie astfel:

:001

Adresa / (linia de fracție) este folosită în codul ISO și se pune în fața unui bloc oarecare, pentru ca el să nu fie citit de aparatura de citire a benzii, decît numai atunci, cînd se comandă în prealabil efectuarea citirii.

5.1.3.1.7. *Codificarea purtătorilor de program.* Transpunerea instrucțiunilor de comandă a MUCN prescrise în Tabelul Program-Piesă se face prin intermediul unui cod, denumit Cod-Mașină.

Cele mai frecvent utilizate coduri-mașină sînt codurile ISO și EIA PC-8B. Ambele coduri se aplică la benzile perforate cu 8 piste și diferă unul de altul numai prin numărul de perforații pe cele 8 piste în lungul benzii (v. fig. 5.1.12).

Codul PC-8B are pe fiecare rînd un număr impar de perforații, în timp ce codul ISO are un număr par de perforații.

Paritatea în codul ISO se asigură printr-o perforație suplimentară pe pista 8 și printr-o perforație pe pista 5 în codul PC-8B.

Necesitatea parității sau a imparității a fost determinată de posibilitatea unui control ușor și rapid al conținutului benzii. Lipsa parității în codul ISO și a imparității în codul PC-8B denotă o eroare de perforare a benzii.

În ambele coduri, pentru codificarea cifrelor se utilizează reprezentarea binară a cifrelor 1 ... 9, folosind pistele 1 ... 4 de la dreapta spre stînga, fiecare pistă corespunzînd puterilor cifrei 2 în ordine crescătoare.

Astfel, perforația de pe linia 1 corespunde cifrei $2^0 = 1$, de pe pista 2, cifrei $2^1 = 2$, de pe pista 3, cifrei $2^2 = 4$ și de pe pista 4, cifrei $2^3 = 8$.

Scanned with OKEN Scanner

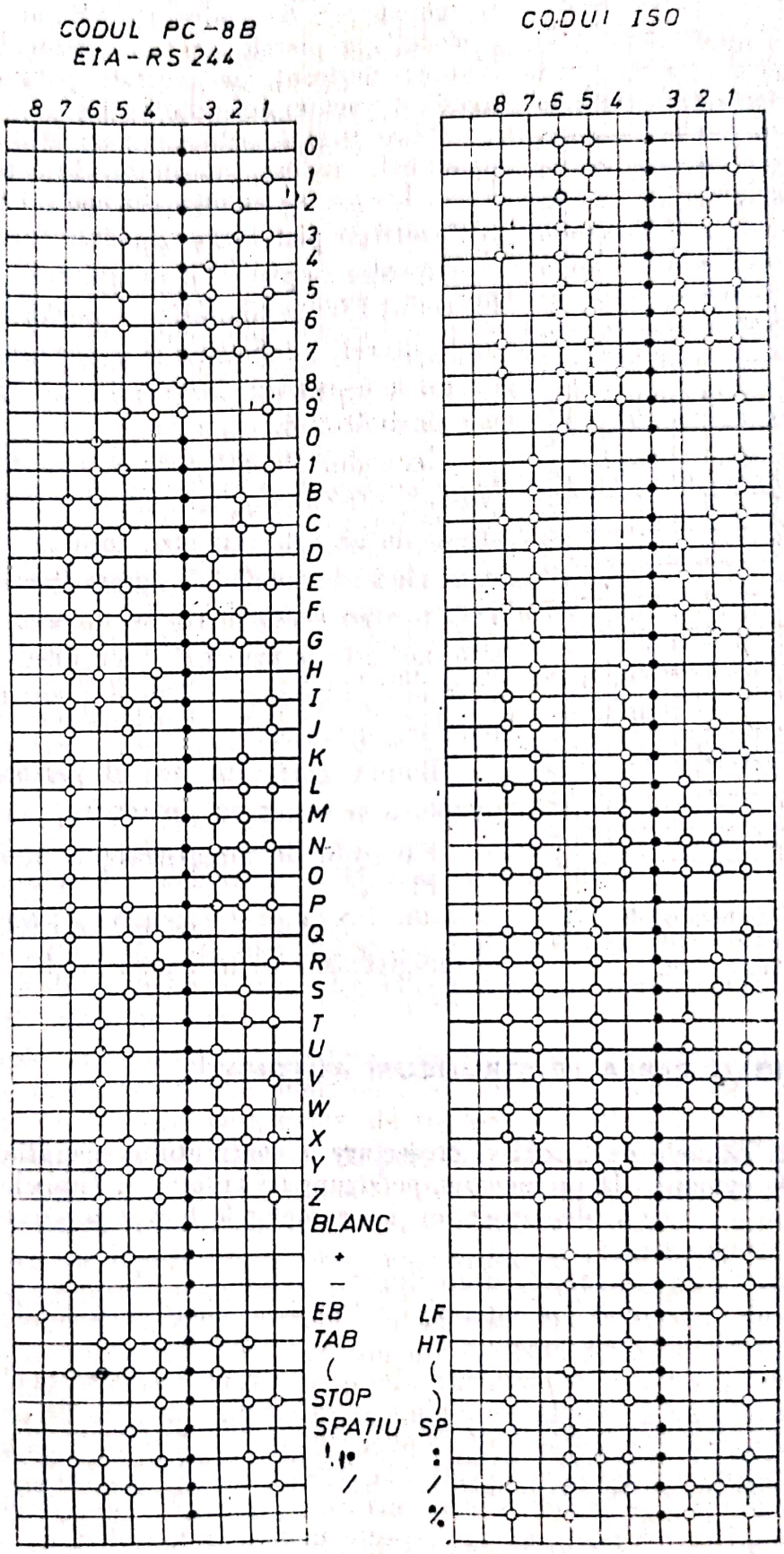


Figura 5.1.12. Codurile PC-8B și ISO pentru programarea MUCN.

Scanned with OKEN Scanner

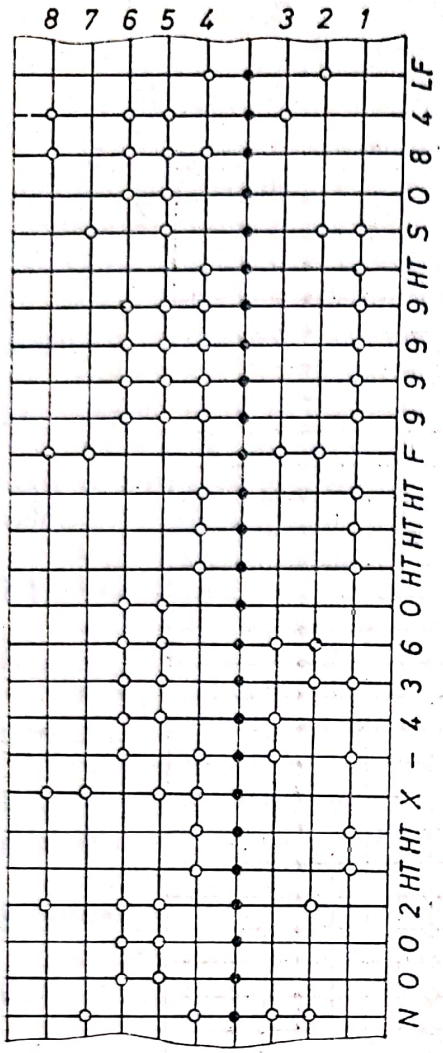


Fig. 5.1.13. Exemplu de înregistrare a frazei NOO2 x-4360 F 9999 S084.

Zecimala „0" se codifică printr-o perforație pe pista 6 în codul PC-8B și prin două perforații pe pistele 5 și 6 în codul ISO. Combinarea perforațiilor permite programarea pe bandă a oricărei cifre dintre 1 și 9.

Literele și diferitele semne sînt codificate în ambele coduri, folosind codificarea cifrelor 1 ... 9 la care se adaugă, în codul PC-8B, două perforații pe pistele 6 și 7 pentru literele A ... I, o perforație pe pista 7 pentru literele I ... R etc. La codul ISO se folosește o perforație pentru toate literele alfabetului și o perforație în plus pe pista 4 pentru literele H ... 0 și pe pista 5 pentru P ... Z.

În codul PC-8B pista 8 este folosită exclusiv pentru a înregistra adresa EB care denotă sfîrșit de bloc de comenzi, ceea ce corespunde unui rînd din tabelul Program-Piesă. În codul ISO pentru acest lucru se folosesc pistele 2 și 4, notîndu-se prin LF (Line Feed) care denotă linia de avansare a benzii pentru aducerea blocului următor.

Banda perforată are o perforație între pistele 3 și 4 pentru antrenare.

Exemplu de înregistrare a unei fraze
Fraza:

NOO2 x-4360 F9999 S084

se înregistrează ca în figura 5.1.13.

5.1.4. PRELUCRAREA PE STRUNGURI AUTOMATE

5.1.4.1. Etapele de calcul și proiectare a conținutului operației și a elementelor de comandă la prelucrarea pe strunguri automate. Etapele de calcul și proiectare a conținutului operației și a camelor la lucrul pe strunguri automate sînt următoarele:

— proiectarea schemei de prelucrare;
— calculul parametrilor regimului optim de așchiere și calculul de reglare;
— întocmirea ciclogramei.

Proiectarea schemei de prelucrare. Pentru ca prelucrarea să se efectueze cu cost minim sau productivitate maximă și să asigure precizia de prelucrare și rugozitatea prevăzută pe desenul de execuție al piesei, trebuie ca la proiectarea conținutului operației (respectiv la determinarea numărului de faze, a succesiunii lor și a gradului de concentrare a prelucrării suprafețelor elementare ale piesei într-o fază), să se respecte următoarele indicații:

— prelucrarea simultană a cît mai multor suprafețe cu scule sau blocuri de scule fixate pe diferiți suporți ai mașinii-unelte;

Scanned with OKEN Scanner

— pentru asigurarea preciziei dimensionale și a rugozității suprafeței; fazele de finisare trebuie precedate de faze de degroșare, prelucrările de degroșare și cele de finisare grupîndu-se separat;

— în cazul în care precizia piesei n-ar necesita faze de finisare și degroșare, totuși este util a se prevedea o fază de degroșare, pentru înlăturarea stratului dur și ecruisat al semifabricatelor, mai ales la prelucrarea cu scule profilate, cînd acest lucru are drept efect mărirea durabilității sculelor;

— pentru piesele care urmează a fi burghiate, mai ales cînd diametrul alezajului de prelucrat este mic, este absolut necesar să se prevadă centruiri prealabile, pentru a se evita excentricitatea axei alezajului; în nici un caz să nu se admită folosirea drept gaură de centrare urma burghiului rămasă în bara semifabricatului după prelucrarea și retezarea piesei precedente;

— la executarea alezajelor lungi, lungimea acestora (L) trebuie divizată după cum urmează: la început se va prelucra alezajul pe o lungime $l_1 \approx 3\,d$, apoi pe o lungime $l_2 \approx 2\,d$ și în sfîrșit ultima porțiune $l_3 \approx d$. Această împărțire are drept scop prelungirea durabilității sculelor prin favorizarea răcirii lor și a eliminării așchiilor;

— atunci cînd piesa are prevăzut un alezaj în trepte, la început trebuie să se prelucreze alezajul cu diametrul mai mare și apoi cel mic, pentru a ușura condițiile de așchiere ale sculelor respective (pentru alezajul mic);

— la prelucrarea cu cuțite profilate este bine ca la sfîrșitul cursei transversale să se mențină cuțitul fără avans cîteva rotații ale piesei, pentru a obține o suprafață curată, eliminîndu-se astfel influența deformațiilor elastice ale sistemului tehnologic asupra preciziei dimensionale și geometrice ale piesei;

— pentru eliminarea apariției vibrațiilor care apar mai ales la prelucrarea cu avansuri transversale, precum și pentru ușurarea evacuării așchiilor, cuțitele profilate să se fixeze cu fața de degajare în jos (pag. 210);

— pentru micșorarea lungimii de așchiat cu cuțitul de retezat, este necesar ca lățimea cuțitului profilat sau cursa cuțitului de strunjit longitudinal sau a burghiului să se mărească cu lățimea cuțitului de retezat;

— pentru echilibrarea forțelor de așchiere să se lucreze simultan cu suporții opuși (din față și spate), atunci cînd aceștia există;

— fazele de prelucrare, mai ales la mașinile automate multiaxe, pe cît posibil să fie egale ca durată;

— succesiunea fazelor și reglarea sculelor trebuie în așa fel prevăzute încît sculele să nu se încurce unele cu altele, evitarea unor astfel de situații realizîndu-se prin desenarea schemei de reglare la scara 1:1;

Pentru reprezentarea schemei de prelucrare se întocmesc schițe separate pentru fiecare grupă de faze de lucru. O grupă de faze de lucru constă din faza principală și fazele suprapuse total sau parțial cu aceasta.

În schița unei grupe de faze se reprezintă cu linie subțire suprafețele piesei care s-au prelucrat în fazele anterioare și cu linii groase acele suprafețe care se prelucrează în grupa respectivă de faze. De asemenea, se reprezintă sculele și, parțial, portsculele care concură la prelucrările din gruparea respectivă de faze.

Pe aceste schițe se pot indica și dimensiunile suprafețelor prelucrate, cursele sculelor cu lungimile respective de intrare și ieșire. În continuare se indică numărul saniei pe care sînt fixate sculele necesare, respectiv poziția capului revolver.

Desenul fazei de tamponare trebuie să conțină atît lungimea cursei de avans a barei, cît și distanța de tamponare.

Scanned with OKEN Scanner

La prelucrările pe strunguri automate, revolver, în schițele fazelor trebuie să fie indicată pentru fiecare operație a capului revolver și lungimea de închidere între suprafața frontală a bucșei elastice de strîngere și capul revolver.

Totalitatea acestor schițe constituie schema de prelucrare pentru piesa dată.

Calculul parametrilor regimului optim de așchiere și calculul de reglare. Calculul parametrilor regimului optim de așchiere se face după metodele prezentate în capitolul 3.7.

a. Adîncimea de așchiere, t, de obicei coincide cu mărimea adaosului de prelucrare, valoarea maximă a acesteia fiind limitată și anume: $t_{max} = 3-4$ mm pentru semifabricate cu $d \leqslant 20$ mm și $t_{max} = 4-5$ mm pentru semifabricate cu $d > 20$ mm. În cazul în care mărimea adaosului de prelucrare depășește valorile maxime arătate, se execută mai multe treceri.

b. Avansul de lucru, s, este îngrădit de rigiditatea piesei și a portsculei, precum și de rugozitatea impusă.

Rugozitatea economică realizabilă în mod curent la strunguri longitudinale pe strunguri automate este $R_a = 6{,}3$ μm. Prin respectarea unor condiții speciale putîndu-se obține 3,2 μm, iar la strunjiri profilate, unde rugozitatea este influențată de calitatea muchiei așchietoare și de condițiile dinamice, se poate obține, în condiții speciale, $R_a = 1{,}6$ μm.

Dacă nu sînt impuse condiții speciale privind rugozitatea suprafețelor prelucrate, avansul este limitat de rigiditatea sistemului tehnologic piesă-sculă.

La prelucrările pe strunguri automate avansul este limitat și de condiția fixării semifabricatului în bucșa elastică, semifabricatul avînd tendința de a se deplasa față de bucșa de strîngere sub acțiunea momentelor de torsiune și a forțelor de așchiere axiale, mai ales la burghierea găurilor cu diametru mare sau la suprapunerea mai multor faze cu avans axial.

c. Viteza de așchiere este îngrădită în primul rînd de calitățile așchietoare ale sculelor, de materialul semifabricatului și de rigiditatea sistemului tehnologic.

d. Turația teoretică se calculează pentru cele i faze cu relația:

$$n_i = \frac{1\,000\ v_i}{\pi d_i}, \text{ [rot/min]}, \tag{5.1.31}$$

unde: v_i este viteza de așchiere teoretică la faza i, în m/min; d_i — diametrul maxim prelucrat la faza i, în mm.

e. Lungimea curselor de lucru, L_i, se determină cu relația:

$$L_i = L_s + L_p + L_a + L_d, \tag{5.1.32}$$

unde: L_s este lungimea de siguranță, în mm; L_p — lungimea de pătrundere, în mm; L_a — lungimea de așchiere, în mm; L_d — lungimea de depășire, în mm.

L_i se adoptă în valoare întreagă sau cu cel mult o zecimală pentru a ușura construcția camei și reglarea strungului automat.

f. Numărul de rotații pe fază, N_i, ale arborelui principal se calculează cu relația:

$$N_i = \frac{L_i}{s_i}, \text{ [rot]}, \tag{5.1.33}$$

în care s_i este avansul de lucru la faza i.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul filetării cu scuiă care nu se rotește, numărul de rotații pe fază se calculează cu relația:

$$N_i = N_i' + N_i'', \quad [\text{rot}], \tag{5.1.34}$$

unde N_i' și N_i'' sînt numărul de rotații ale piesei la cursa de filetare, respectiv la cursa de retragere a sculei:

$$N_i' = \frac{L_i}{p} \cdot i, \quad [\text{rot}], \tag{5.1.35}$$

în care p este pasul filetului, iar i — raportul de reducere a turației de lucru la filetare față de turația arborelui principal la celelalte prelucrări:

$$N_i'' = \frac{L_i}{p}, \quad [\text{rot}]. \tag{5.1.36}$$

S-a considerat că turația de retragere a sculei de filetare este turația arborelui principal la celelalte prelucrări.

În continuare se face însumarea numărului de rotații pe fază care nu se suprapun, obținîndu-se numărul de rotații corespunzător fazelor de lucru:

$$N = \sum_{i=1}^{K} N_i, \quad [\text{rot}], \tag{5.1.37}$$

K fiind numărul fazelor de lucru care nu se suprapun.

Rotațiile prelucrărilor suprapuse în timp cu alte faze se trec în paranteză în fișa de calcul a planului de operații.

g. Numărul de diviziuni pentru cursele de mers în gol, $\sum_{i=1}^{m} \beta_i$ sînt date în cărțile mașinilor, în funcție de timpul aproximativ pe ciclu, ca cotă parte din acesta, m fiind numărul de faze de mers în gol nesuprapuse. Diviziunile necesare pentru mișcările și comenzile auxiliare suprapuse se trec în paranteză în coloana respectivă a fișei de calcul.

Timpul aproximativ pe ciclu, τ' se determină cu relația:

$$\tau' = \tau_\alpha + \tau_\beta, \tag{5.1.38}$$

unde τ_α este timpul de lucru corespunzător celor N rotații ale arborelui principal, iar τ_β este timpul pentru cursele de mers în gol.

$$\tau_\alpha = \frac{N}{n_{AP}} \cdot 60, \quad [\text{s}]; \tag{5.1.39}$$

$$\tau_\beta = (0{,}2 \ldots 0{,}4)\tau_\alpha. \tag{5.1.40}$$

Deci, $\tau' = (1, 2, .. 1{,}4)\frac{N}{n_{AP}} \cdot 60$ și în funcție de această valoare din cartea mașinii se determină diviziunile necesare pentru cursele de mers în gol, nesuprapuse, $\sum_{i=1}^{n} \beta_i$.

Scanned with OKEN Scanner

h. Numărul de diviziuni pentru cursele de lucru, $\sum_{i=1}^{K} \alpha_i$, se calculează pe baza faptului, că suma diviziunilor pentru toate mișcările și comenzile necesare este egal cu numărul de părți în care s-a divizat discul de comandă și camele, X. De exemplu $X = 360$ pentru strungurile automate SARO și FT28, $X = 120$ pentru Ruhla 656; $X = 100$ pentru Index, Skoda.

$$\sum_{i=1}^{K} \alpha_i = X - \sum_{i=1}^{m} \beta_i, \quad [\text{rot}], \tag{5.1.41}$$

unde K este numărul fazelor de lucru nesuprapuse.

Cu această valoare a numărului de diviziuni pentru cursele de lucru se poate determina un timp pe ciclu mai apropiat:

$$\tau'' = \frac{\tau_\alpha \cdot X}{\sum_{i=1}^{K} \alpha_i}, \quad [\text{s}]. \tag{5.1.42}$$

i. Timpul total de prelucrare, τ, în s, se alege ca fiind valoarea imediat apropiată lui τ'' care se poate realiza cu roțile de schimb existente pentru arborele de distribuție. Această valoare a timpului total de prelucrare rămîne definitivă și se trece în fișa de calcul, împreună cu roțile de schimb aferente.

j. Numărul total de rotații pentru ciclul de lucru, N_{tot}, se determină cu relația:

$$N_{tot} = \frac{\tau \cdot n_{AP}}{60}, \quad [\text{rot}], \tag{5.1.43}$$

k. Numărul de rotații pentru cursele de lucru, N_L, se determină cu relația:

$$N_L = N_{tot}\left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{m} \beta_i}{X}\right), \quad [\text{rot}]. \tag{5.1.44}$$

Comparînd acest număr de rotații pentru cursele de lucru cu cel determinat cu relația (5.1.37) rezultă o diferență:

$$\Delta N = N_L - N, \quad [\text{rot}]. \tag{5.1.45}$$

În cazul în care ΔN este pozitiv, acest număr de rotații urmează a fi distribuit pentru mișcările active mai dificile, micșorînd în acest fel avansul pe rotație, iar cînd e negativ, se scad din numerele de rotații pentru mișcările active mai ușoare, obținîndu-se astfel numărul de rotații pe fază real, N_{ri}, care se trece în fișa de calcul.

l. Numărul de diviziuni pe fază, α_i corespunzător numărului de rotații pe fază real, se determină cu relația:

$$\alpha_i = \frac{N_{ri} \cdot X}{N_{tot}}, \quad [\text{diviziuni}]. \tag{5.1.46}$$

Scanned with OKEN Scanner

Valorile obținute pentru α_i, de obicei se rotunjesc la număr întreg sau cu o zecimală, aceasta fiind 5, pentru execuția și controlul camei. Rotunjirile se fac în așa fel încît $\sum_{i=1}^{K} \alpha_i$ să corespundă cu valoarea determinată cu relația (5.1.46).

Timpul necesar și diviziunile aferente mișcărilor de lucru suprapuse nu au fost luate în considerare la calculul timpului total de prelucrare. Diviziunile necesare curselor de lucru suprapuse se calculează cu aceleași relații, însă în fișa de calcul se trec în paranteză și nu se iau în considerare la însumare.

Diviziunile de început sau sfîrșit al mișcărilor suprapuse se leagă de sfîrșitul sau începutul mișcării cu care se suprapune.

Întocmirea ciclogramei. Ciclograma este o reprezentare grafică detaliată a succesiunii și suprapunerii în timp a tuturor mișcărilor și comenzilor efectuate de săniile de lucru și capul revolver ale strungului automat respectiv. Întocmindu-se după proiectarea conținutului operației, ciclograma scoate în evidență greșelile ce s-ar fi putut strecura sau posibilitățile de îmbunătățire ale acestuia. Ea se poate reprezenta în coordonate polare sau carteziene, figura 5.1.14. În ciclogramele reprezentate în coordonate carteziene, curbele de pantă mare corespund curselor rapide, de mers în gol, iar cele de pantă mică, curselor de lucru.

Cifrele radiale, figura 5.1.14, *a*, respectiv cele verticale, figura 5.1.14, *b*, reprezintă numărul săniilor. Cercul, respectiv abscisa la reprezentarea în coordonate carteziene, sînt împărțite în numărul de diviziuni $X = 100$, 120 sau 360. Cu linie continuă sînt reprezentate cursele de lucru, iar cu linie întreruptă cursele de mers în gol.

Proiectarea și executarea elementelor de comandă (camele). Camele strungurilor automate sînt elementele de comandă, purtătoarele programului pentru realizarea ciclului de lucru, deplasînd prin intermediul unor pîrghii, săniile și organele de lucru ale strungului automat, la timpul prevăzut, cu viteza și în sensul necesar. Ele sînt fixate pe arborii de comandă și transformă miș-

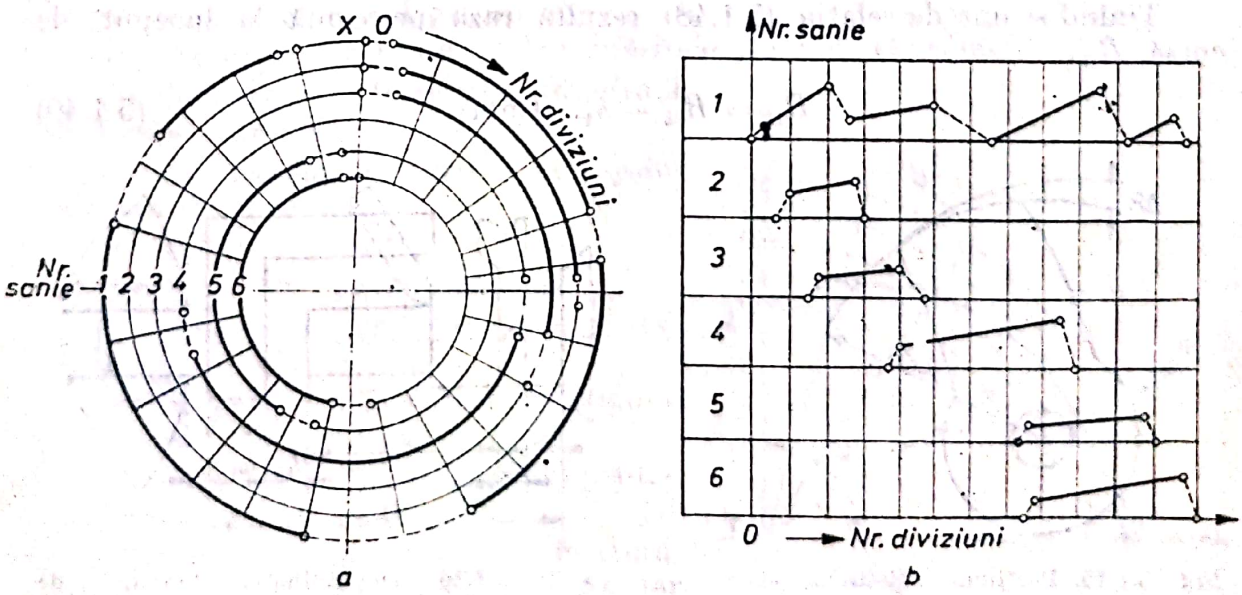


Fig. 5.1.14. Ciclograma de lucru pentru strunguri automate:
a — în coordonate polare; *b* — în coordonate carteziene.

Scanned with OKEN Scanner

carea de rotație constantă și realizată în același sens a acestora, în mișcări de translație cu diferite viteze de avans și în diferite sensuri. Mișcările comandate prin came pot fi:

— mișcări de deplasare rapidă în poziția de început a prelucrării, apropiere rapidă, figura 5.1.15, *a*;

— mișcări cu avans de lucru din poziția de început a prelucrării în poziția finală a prelucrării — mișcări de lucru, figura 5.1.15, *b*;

— mișcări de deplasare rapidă din poziția finală a prelucrării în poziția de repaus a sculei, retragere rapidă, figura 5.1.15, *c*.

În funcție de caracterul mișcării relative a camei și tachetului se pot deosebi came prismatice, plane (disc), cilindrice, conice, globoidale, hiperboloidale etc.

Razele extreme ale curbelor de lucru de pe cama saniei capului revolver se determină pornind de la faza în care distanța dintre capul revolver și suprafața frontală a arborelui principal, numită lungime de închidere, este minimă.

Lungimea de închidere, l_i, se calculează în funcție de dimensiunile piesei de prelucrat, de dimensiunile portsculelor și de anumite considerente de natură constructivă, cu relația:

$$l_i = l_{bc} + l_{cr} + l_p + l_{sp} + l_{ps} + l_r, \quad [\text{mm}], \tag{5.1.47}$$

în care: l_{bc} reprezintă distanța dintre bucșa de strîngere și cuțitul de retezat, în mm; l_{cr} — lățimea cuțitului de retezat, în mm; l_p — lungimea piesei, în mm; l_{sp} — distanța de siguranță între suportul portcuțit și piesă, în mm; l_{ps} — lungimea portsculei, în mm; l_r — distanță de siguranță pentru reglare, în mm, conform figurii 5.1.16.

Fie k faza la care lungimea de închidere este minimă. La această fază raza de sfîrșit de cursă, R_{sk}, este egală cu raza maximă a camei, R_{max} (care este o constantă a mașinii), fiind diametrul semifabricatului disc din care se prelucrează cama.

$$R_{sk} = R_{max}. \tag{5.1.48}$$

Ținînd seama de relația (5.1.48) rezultă raza pe camă la început de cursă, R_{ik}.

$$R_{ik} = R_{sk} - h_k, \quad [\text{mm}], \tag{5.1.49}$$

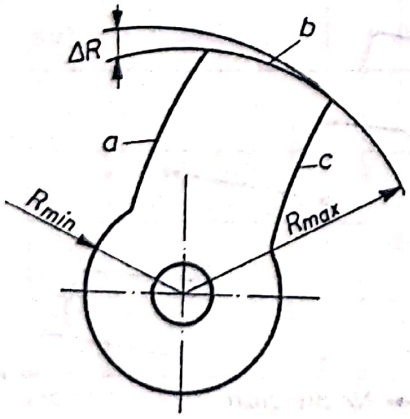


Fig. 5.1.15. Porțiunile distincte ale camei:
a — apropiere rapidă; *b* — mișcare de lucru; *c* — retragere rapidă.

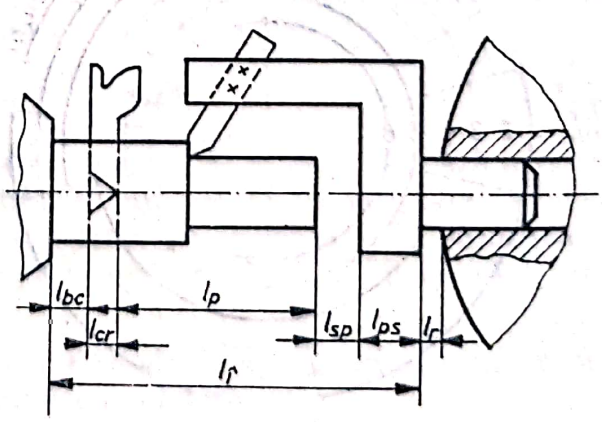


Fig. 5.1.16. Determinarea lungimii de închidere la o fază de lucru.

unde: h_k reprezintă urcarea pe camă la faza k, în mm şi se determină cu relaţia:

$$h_k = L_{tk} \cdot i, \quad [\text{mm}], \tag{5.1.50}$$

în care: L_{tk} este lungimea cursei de lucru la faza k, în mm; i — raportul de transmitere al pîrghiilor care transmit mişcarea de la camă la sanie.

Pentru celelalte faze razele de sfîrşit şi început de cursă R_{si} şi R_{ii}, se determină cu relaţiile:

$$R_{si} = R_{max} - (l_{ii} - l_{i\,min}), \quad [\text{mm}], \tag{5.1.51}$$

în care l_{ii} este lungimea cursei de lucru pentru faza i, în mm.

$$R_{ii} = R_{si} - h_i, \quad [\text{mm}], \tag{5.1.52}$$

unde h_i este urcarea pe camă la faza i, în mm.

Camele săniilor transversale se execută la diametrul maxim prescris pentru durata de acţiune a sculelor şi pe diametrul minim pentru durata de staţionare.

Deoarece avansul sculei trebuie să fie uniform, curbele care comandă mişcările de lucru sînt spirale arhimedice. Pentru construcţia grafică a arcului de spirală arhimedică se împarte atît unghiul φ_i, ce delimitează curba, cît şi urcarea pe camă h_i, în acelaşi număr de părţi egale. Se numerotează arcele de cerc şi razele duse şi se unesc printr-o linie continuă intersecţiile arcelor şi razelor care au acelaşi număr, figura 5.1.17. Curba va aproxima cu atît mai bine spirala arhimedică cu cît numărul de părţi a fost mai mare.

Pentru mişcările de apropiere şi retragere rapidă, întreprinderile constructoare de strunguri automate dau şabloanele corespunzătoare trasării curbelor de comandă.

Desenul de execuţie al camei trebuie să conţină toate datele necesare executării camei:

— diviziunile şi razele de început şi sfîrşit ale fiecărei mişcări;

— diametrul rolei culegătorului sau raza de rotunjire a palpatorului;

— raza de basculare (distanţa dintre axa camei şi axa de oscilaţie a pîrghiei culegătorului);

— raza pîrghiei culegătorului;

— razele de racordare pentru diferitele porţiuni ale camei;

— diametrul şi toleranţa alezajului de fixare a camei;

— dimensiunea şi poziţia alezajului de poziţionare;

— grosimea camei;

— semne de rugozitate;

— materialul semifabricatului şi tratamentul termic necesar;

— timpul pe ciclu şi tipul strungului la care se utilizează cama;

— numărul de reper al piesei pentru care s-a proiectat cama.

Pentru a rezista solicitărilor la uzură, camele se execută din OLC10 ... 20, iar partea activă se comentează, se călește şi lustruieşte.

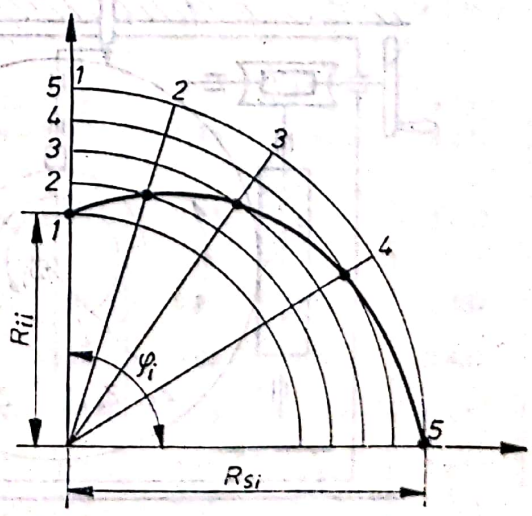


Fig. 5.1.17. Construcţia grafică a spiralei arhimedice.

Prelucrarea camelor se poate face după diferite variante de procese tehnologice, în funcție de condițiile tehnice impuse profilului și de numărul de came care se prelucrează. Precizia profilului și rugozitatea suprafeței de contact a camei cu tachetul sînt determinate atît în ceea ce privește precizia transmiterii legii de mișcare cît și în ceea ce privește uzura camei în timp. Executarea camelor plane se poate realiza prin:

1. Trasaj, decupare și prelucrare. Trasajul se poate realiza cu rigla și compasul, cu șabloane avînd forma arcelor de cerc pentru diferite raze de curbură sau cu șablonul pentru întreaga camă. Decuparea se poate realiza prin găurire de-a lungul conturului profilului trasat, tăiere cu dalta, cu fierăstrău cu bandă sau cu flacără oxiacetilenică. Prelucrarea se poate face manual, cu pila sau mecanic, pe mașini-unelte universale sau speciale.

2. Prelucrarea pe mașini-unelte, prin strunjire pe strunguri de detalonat sau strunguri speciale de copiat, prin rabotare, prin frezare pe mașini de frezat verticale, pe mașini speciale de copiat.

3. Prelucrare pe dispozitive specializate.

4. Prelucrare pe mașini-unelte cu comandă numerică.

Dispozitivul de frezat came plane și spațiale, figura 5.1.18, executat în laboratorul nostru de TCM, realizează profilul camei după o spirală arhimedică prin mișcările corelate realizate de un lanț cinematic.

Rotind roata de mînă *RM1* se imprimă o mișcare de rotație melcului *15*, care angrenează cu roata melcată *16*. Melcul *14* primește mișcarea de la roata melcată *16* și angrenează cu roata melcată *13*, care rotește axul principal cu roata dințată *4*, fixă pe ax, care angrenează cu baladorul *3*. Acesta este în angrenare cu cremaliera *1* sau cremaliera *2*, care deplasează sania portlinial *SP* solidar cu ea pe ghidajele *11*. Linialul *8* fix pe portlinialul *7* se deplasează cu aceeași mărime, dar fiind înclinat cu unghiul α și fiind ținut în contact cu rola *5*, fixată pe un braț fix *17*, prin arcurile *6*, este obligată să se deplaseze cu întreg sistemul pe ghidajul *12*. Diferite înclinații ale linialului dau spirale arhimedice cu pași diferiți. Unghiul α se reglează rotind roata de mînă *RM2*, cu melcul *10* care deplasează sectorul dințat *9* fixat pe portlinialul *7* pe care este fixat linialul *8*.

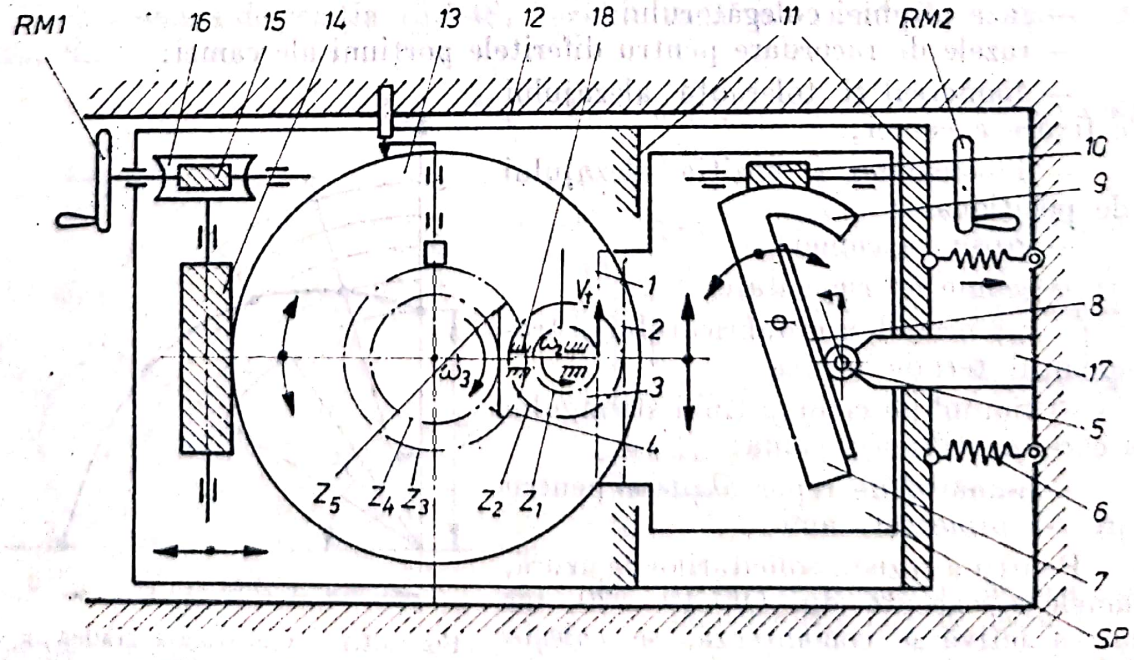


Fig. 5.1.18. Dispozitiv pentru frezat came plane și spațiale.

Pentru prelucrarea camelor spațiale mișcarea de rotație a camei se transmite prin intermediul perechii de roți conice Z_4, Z_5 la axul orizontal *18*, pe care se fixează semifabricatul. Se pot prelucra came plane cu diametrul maxim de 250 mm, grosimea maximă 15 mm, ridicare maximă pe linial 100 mm, diametrul minim 700 mm și came cilindrice cu diametrul maxim al semifabricatului de 140 mm, diametrul minim 70 mm și grosimea maximă 11 mm.

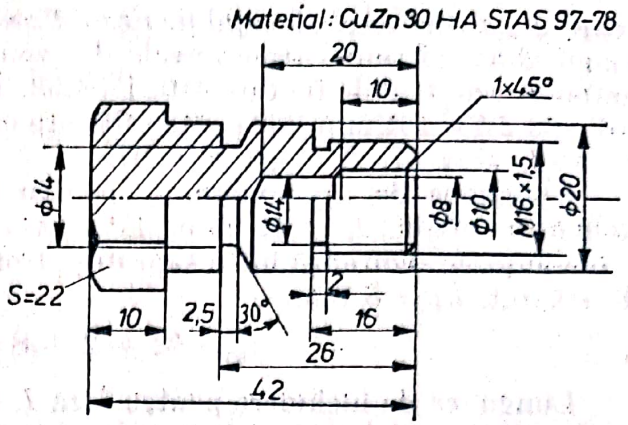


Fig 5.1.19. Material: CuZn30 HA STAS 95-78 Desenul piesei.

Aplicație numerică exemplificatorie. Prelucrarea unui „bulon racord orientabil" pe un strung automat cu cap revolver SARO-25.

Dimensiunile piesei impun alegerea semifabricatului: bară hexagonală HA 22 STAS 293-80/CuZn37 STAS 95-78.

Analizînd desenul piesei (fig. 5.1.19) rezultă că, pentru realizarea acesteia, sînt necesare următoarele prelucrări principale: strunjiri longitudinale, strunjiri de degajare și profilare transversală, centruire, burghieri succesive, filetate și retezare. Ținînd cont de acestea și de dimensiunile piesei, din categoria strungurilor automate, se alege strungul SARO-25.

Pe baza posibilităților tehnologice ale strungului automat SARO-25 se stabilește următoarele faze de prelucrare și regimuri de așchiere, tabelul 5.1.4

Se observă posibilitatea suprapunerii fazelor *3* cu *6* și *4*, *7* cu *5*, *8*. Centrurea nu se va suprapune cu alte faze pentru a asigura o precizie corespunză-

Tabelul 5.1.4

Fazele de prelucrare și regimurile de așchiere

Nr. fazei	Denumirea fazei	Sania	Poziția CR	Port-scula	Regimul de așchiere		
					s [rot/min]	v [m/min]	n_{AP} [rot/min]
1.	Avansul materialului, tamponare	CR	I	LN—1632	—	—	2 437
2.	Centruire	CR	II	LN—1480	0,15	91,5	2 437
3.	Strunjire longitudinală ∅ 20 × 32	CR	III	LN—1481/1	0,15	153	2 437
4.	Strunjire longitudinală ∅ 16 × 16	S_1		LN—1421	0,10	122	2 437
5.	Strunjire profilată ∅ 14	S_2	—	LN—1422	0,09	137	2 437
6.	Burghiere ∅ 10 × 10	CR	III	LN—1481/1	0,15	77	2 437
7.	Burghiere ∅ 8 × 10, teșire	CR	IV	LN—1481/1	0,10	61	2 437
8.	Degajare	S_3		LN—1455	0,03	145	2 437
9.	Filetare	CR	V	LN—1554	1,5	23,5	537
10.	Retezare, teșire	S_4		LN—1455	0,06	84	2 437

Scanned with OKEN Scanner

toare a poziției axei alezajului. Faza *4* se va realiza prin folosirea avansului longitudinal al saniei transversale din spate. Pe baza posibilității strungului automat raportul de filetare este 1 : 4,53. Turația arborelui principal la strunjiri este 2 437 rot/min, iar pentru filetare este 537 rot/min, cu roțile de schimb $C = 93$, $D = 47$, $E = 43$, $F = 97$.

Lungimea de tamponare, l_t, pentru faza *1* se determină adăugînd la lungimea piesei, $l_p = 42$ mm, lățimea cuțitului de retezat, $l_{cr} = 2$ mm, și distanța de siguranță între suprafața frontală a arborelui principal și cuțitul de retezat, $l_{bc} = 8$ mm.

$$l_t = 42 + 2 + 8 = 52 \text{ mm}.$$

Lungimea de închidere pentru faza *1*, l_{i1}, cunoscînd lungimea portsculei $l_{ps} = 45{,}5$ mm și $l_r = 0$ se determină:

$$l_{i1} = l_t + l_{ps} = 52 + 45{,}5 = 97{,}5 \text{ mm}.$$

Centruirea se va executa cu un burghiu elicoidal cu unghiul la vîrf $2\varkappa = 90°$.

Lungimea cursei de lucru pentru faza *2*, L_2, se determină:

$$L_2 = (1 \ldots 2) + \frac{D}{2} \operatorname{ctg} \varkappa,$$

unde D este diametrul conului.

Se adoptă $D = 12$ mm, pentru a se realiza teșirea $1 \times 45°$ la $\varnothing$ 10:

$$L_2 = 1 + \frac{12}{2} \operatorname{ctg} 45° = 7 \text{ mm}.$$

Lungimea de închidere, l_{i2}, se determină ținînd cont de poziția portsculei față de piesă la sfîrșitul prelucrării, $l_{sp_2} = 12$ mm, și lungimea portsculei $l_{ps_2} = 26$ mm, $l_r = 0$.

$$l_{i_2} = 52 + 12 + 26 = 90 \text{ mm}.$$

Pentru fazele *3* și *4*, lungimile curselor de lucru se determină cu relația (5.1.32), cunoscînd $L_p = L_d = 0$; $L_s = 1$ mm, $L_a = 32$ mm pentru faza *3* și $L_a = 16$ mm pentru faza *4*.

$$L_3 = 32 + 1 = 33 \text{ mm}$$

$$L_4 = 16 + 1 = 17 \text{ mm}.$$

Cursa de lucru pentru strunjirea profilată din faza *5* rezultă introducînd în relația (5.1.32) valorile $L_s = 0{,}8$ mm și

$$L_a = \frac{D - d_{min}}{2} = \frac{25{,}4 - 14}{2} = 5{,}7 \text{ mm}. \quad L_p = L_d = 0.$$

$$L_5 = L_s + L_a = 0{,}8 + 5{,}7 = 6{,}5 \text{ mm}.$$

Pentru fazele *6* și *7* lungimile curselor de lucru vor fi determinate cunoscînd $L_s = 1 \ldots 2$ mm; $L_p = \frac{D - d}{2} \operatorname{ctg} = \frac{12 - 10}{2} \operatorname{ctg} 65° = 1$ mm; $L_a = 10$ mm; $L_d = 0$.

$$L_6 = L_7 = 1 \ldots 2 + 1 + 10 = 12 \text{ mm}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Lungimile de închidere l_{i3} și l_{i7} vor fi stabilite cunoscînd $l_{sp_3} = 10$ mm,

$$l_{ps_3} = l_{ps_7} = 26 \text{ mm și } l_r = 0$$

$$l_{i_3} = l_{i_7} = 52 + 10 + 26 = 88 \text{ mm}.$$

La degajare, faza *8*, $L_s = 0{,}5 \ldots 1$ mm, $L_a = \frac{D-d}{2} = \frac{16-14}{2} = 1$ mm; $L_p = L_d = 0$.

$$L_8 = 0{,}5 \ldots 1 + 1 = 2 \text{ mm}.$$

Faza *9*, filetarea, se execută cu filiera; $L_s = 1 \ldots 2\ p = (1 \ldots 2)\ 1{,}5$ mm; $L_p = \frac{d_2 - d_1}{2} \operatorname{ctg} \varkappa = \frac{16 - 14{,}4}{2} \operatorname{ctg}\ 45° = 8$ mm; $L_a = 14$ mm; $L_d = 0{,}5 \cdot p = 0{,}5 \cdot 1{,}5$ mm.

$$L_9 = (1 \ldots 2) \cdot 1{,}5 + 0{,}8 + 14 + 0{,}5 \cdot 1{,}5 = 18 \text{ mm}.$$

Lungimea de închidere l_{i_9} se determină cunoscînd $l_{ps_9} = 51$ mm, $l_r = 0$; $l_{i_9} = 52 - 14 - 0{,}5 \cdot 1{,}5 + 51 = 88{,}25$ mm. Se adoptă

$$l_{i_9} = 88{,}5 \text{ mm}.$$

Retezarea, faza *10*. Se cunosc: $L_s = 0{,}5 \ldots 1$ mm; $L_a = \frac{D}{2} = \frac{25{,}4}{2} = 12{,}7$ mm, $L_p = b \cdot \operatorname{tg} \varkappa = 2 \cdot 0{,}27 = 0{,}54$ mm;

$$L_d = 0{,}5 \ldots 1 \text{ mm}.$$

$$L_{10} = (0{,}5 \ldots 1) + 12{,}7 + 0{,}54 + (0{,}5 \ldots 1) = 14 \text{ mm}.$$

Se determină numărul de rotații pe fază cu relația (5.1.33). Se obțin valorile: $N_2 = 47$ rot; $N_3 = 220$ rot; $N_4 = 170$ rot; $N_5 = 216$ rot; $N_6 = 80$ rot; $N_7 = 120$ rot; $N_8 = 67$ rot; $N_9 = 55$ rot; $N_{10} = 235$ rot.

N_6 se suprapune cu N_3, iar N_5 și N_7 se suprapun cu N_4 și N_8, deci N_6, N_5 și N_7 nu se iau în considerare la calculul numărului de rotații corespunzător fazelor de lucru, N.

$$N = 47 + 220 + 180 + 67 + 55 + 235 = 794 \text{ rot}.$$

Timpul aproximativ pe ciclu, τ', va fi:

$$\tau' = (1{,}2 \ldots 1{,}4)\ \frac{794}{2\,437} \cdot 60 = 23{,}5 \ldots 27{,}4 \text{ s}.$$

Din cartea mașinii se determină numărul de diviziuni necesare curselor auxiliare, funcție de τ':

— avans material, tamponare, stringere: $\beta = 14$ div.

— retragere și schimbare CR: $\beta = 14$ div.

Scanned with OKEN Scanner

— apropiere CR: $\beta = 7$ div.
— schimbare turație și sens: $\beta = 7$ div.
— revenirea filierei: $\beta = 6$ div.
— retragere, schimbare CR : 2 : $\beta = 20$ div.
— apropiere longitudinală: $\beta = 32$ div.
— apropiere transversală: $\beta = 20$ div.
— retragere transversală: $\beta = 16$ div.
— retragere longitudinală; $\beta = 20$ div.

$\Sigma\beta_i$, numărul de diviziuni pentru cursele de mers în gol nesuprapuse, va fi:

$$\Sigma\beta_i = 14 + 14 + 14 + 7 + 7 + 16 + 16 = 88 \text{ div.}$$

Se determină numărul de diviziuni pentru cursele de lucru, $\Sigma\alpha_i$, cunoscînd că pentru SARO 25, $X = 360$ div.

$$\Sigma\alpha_i = 360 - 88 = 272 \text{ div.}$$

Se determină timpul de lucru τ'':

$$\tau'' = \frac{19{,}6 \cdot 360}{272} = 25{,}9 \text{ s.}$$

Se adoptă $\tau = 26$ s și se stabilesc roțile de schimb $A = 75$, $B = 65$, $C = 40$, $D = 80$.

Numărul total de rotații pentru ciclul de lucru, N_{tot} , va fi:

$$N_{tot} = \frac{26 \cdot 2\,437}{60} = 1\,056 \text{ rot.}$$

De asemenea se determină numărul de rotații pentru cursele de lucru N_L.

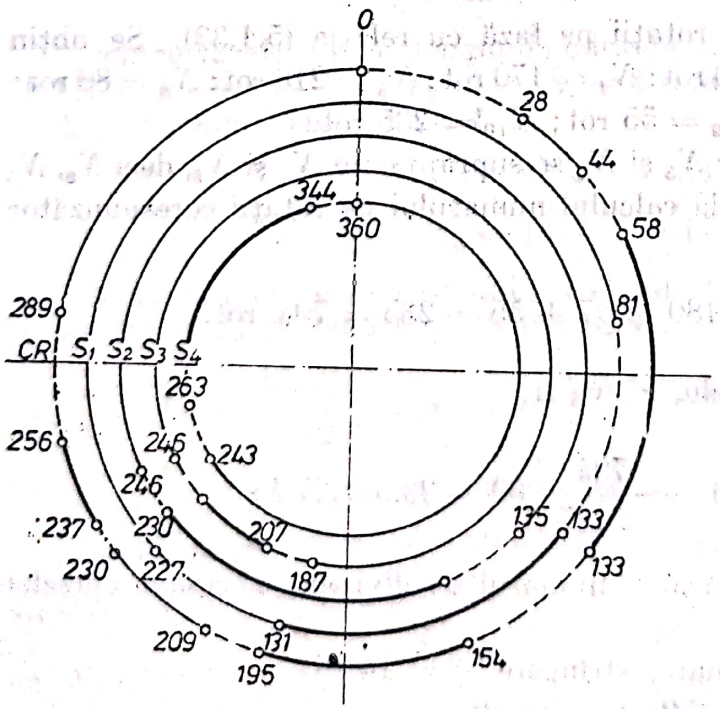


Fig. 5.1.20. Ciclograma.

$$N_L = 1\,056\left(1 - \frac{88}{360}\right) = 798 \text{ rot.}$$

$$\Delta N = N_L - N = 798 - 794 = 4 \text{ rot.}$$

Cele 4 rotații se vor repartiza frazei 5 determinînd o scădere a avansului de la 0,03 la 0,0295 mm/rot. Deci $N_5 = 220$ rot.

Se calculează numărul de diviziuni pe fază, α_i, cu relația (5.146). $x_2 = 16$ div; $\alpha_3 = 75$ div; $\alpha_4 = 58$ div; $\alpha_5 = 75$ div; $\alpha_6 = 27$ div; $\alpha_7 = 41$ div; $\alpha_8 = 23$ div; $\alpha_9 = 19$ div; $\alpha_{10} = 81$ div.

Ciclograma va avea configurația din figura 5.1.20.

Scanned with OKEN Scanner

Lungimile de închidere, l_{i}, necesare proiectării camei capului revolver au determinate $l_{i_1} = 97{,}5$ mm; $l_{i_3} = 90$ mm; $l_{i_5} = 88$ mm; $l_{i_7} = 88$ mm; $l_{i_9} = 88{,}5$ mm. Lungimea de închidere minimă este la fazele *3* și *7*, iar raza maximă a camei este $R_{max} = 92{,}5$ mm. Deci: $R_{s_3} = R_{s_7} = R_{max} = 92{,}5$ mm și $l_{i_{min}} = 88$ mm.

Se alege raportul pîrghiilor $i = 1 : 1$, de unde rezultă:
$h_1 = 0$; $h_2 = L_2 = 7$ mm; $h_3 = L_3 = 33$ mm; $h_7 = L_7 = 12$ mm; $h_9 = L_9 = 18$ mm;

$$R_{t_3} = 92{,}5 - 33 = 59{,}5 \text{ mm};$$

$$R_{t_7} = 92{,}5 - 12 = 80{,}5 \text{ mm};$$

$$R_{s_1} = 92{,}5 - (97{,}5 - 88) = 82 \text{ mm}; \quad R_{t_1} = R_{s_1} = 83 \text{ mm};$$

$$R_{s_2} = 92{,}5 - (90 - 88) = 90{,}5 \text{ mm}; \quad R_{t_2} = 90{,}5 - 7 = 83{,}5 \text{ mm};$$

$$R_{s_9} = 92{,}5 - (88{,}5 - 88) = 92 \text{ mm}; \quad R_{t_9} = 92 - 18 = 74 \text{ mm}.$$

La suporții transversali raportul de transmitere a pîrghiilor este tot 1 : 1, deci urcarea pe camă va fi egală cu cursa de lucru.

$h_4 = L_4 = 17$ mm; $h_5 = L_5 = 6{,}5$ mm; $h_8 = L_8 = 2$ mm; $h_{10} = L_{10} = 14$ mm.

La strunjirea longitudinală, faza *4*, se vor proiecta două came, una pentru deplasarea transversală, cu $R_{s_4} = R_{max} = 62{,}5$ mm și $R_{t_4} = R_{min} = 32{,}5$ mm, și una pentru deplasarea longitudinală.

$$R_{s_4} = R_{max} = 92{,}5 \text{ mm}; \quad R_{t_4} = 92{,}5 - 17 = 75{,}5 \text{ mm};$$

$$R_{s_6} = R_{max} = 62{,}5 \text{ mm}; \quad R_{t_6} = 62{,}5 - 6{,}5 = 56 \text{ mm};$$

$$R_{s_8} = R_{max} = 62{,}5 \text{ mm}; \quad R_{t_8} = 62{,}5 - 2 = 60{,}5 \text{ mm};$$

$$R_{s_{10}} = R_{max} = 62{,}5 \text{ mm}; \quad R_{t_{10}} = 62{,}5 - 14 = 48{,}5 \text{ mm}.$$

Cunoscînd diviziunile pe camă și razele de început și sfîrșit a curbei se proiectează camele. Cama capului revolver este prezentată în figura 5.1.21, iar cama suportului anterior S_2 pentru strunjirea profilată, în figura 5.1.22, camele celorlalți suporți transversali fiind asemănătoare celei din figura 5.1.22. Curbele de urcare și coborîre rapidă s-au trasat cu ajutorul șabloanelor adecvate.

Planul de operații cu datele necesare reglajului este prezentat în tabelul 5.1.5.

Scanned with OKEN Scanner

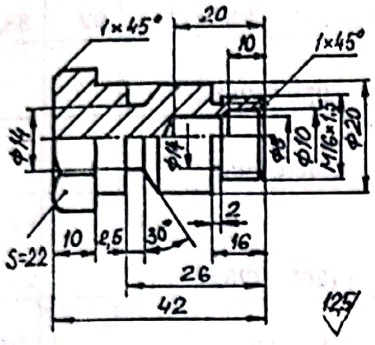
UNIVERSITATEA DIN BRAȘOV	PLAN DE OPERAȚII	Atelier Secție
Denumirea automatului	Strung automat cu cap revolver	Roți de schimb
Firma	Uzina de strunguri Tîrgoviște	Arbore principal: C 93, D 47, E 43, F 97 — Arbore distribuție: A 75, B 65, C 40, D 80
Model	SARO 25	
Condiții de răcire	Ulei sub presiune	

	Poziția	Succesiunea fazelor	Viteza de așchiere m/min	Cursa de lucru mm	Avansul mm/rot	Nr. de rot. pe fază: calculate	Nr. de rot. pe fază: întrebuințate	Diviziuni pe camă: cursă auxiliară	Diviziuni pe camă: cursă de lucru	Diviziuni pe camă: de la	Diviziuni pe camă: până la	Raza camă: început Rik	Raza camă: sfîrșit RSk	Distanță de la CR la AP
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cap revolver — CR	I	Avans material, tamponare, strîngere						14		0	14	83	83	97,5
		Retragere, schimbare CR						14		14	28			
	II	Centruire	91,5	7	0,15	47	47		16	28	44	83,5	90,5	90
		Retragere, schimbare CR						14		44	58			
	III	Strunjire ∅ 20 + 32, burghiere ∅ 10 × 10	153	33	0,15	220	220		75	58	133	59,5	92,5	88
		Retragere, schimbare CR						(14)		(133)	(147)			
	IV	Apropiere CR						(7)		(147)	(154)			
		Burghiere ∅ 8 × 10, teșire 1 × 45°	61	12	0,10	(120)	(120)		(41)	(154)	(195)	80,5	92,5	88
		Retragere, schimbare CR						(14)		(195)	(209)			

Scanned with OKEN Scanner

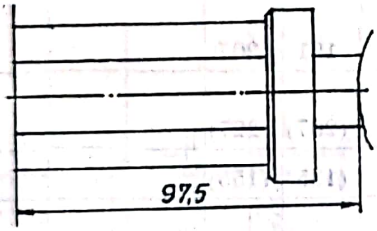
datele necesare reglajului

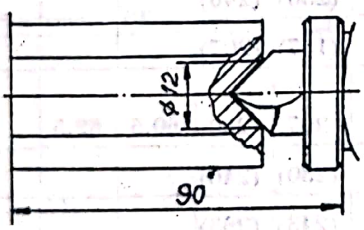
BULON RACORD ORIENTABIL	2 PCU—00—00	Reper nr.	2 PCU—02—18
Denumirea piesei	Produs		

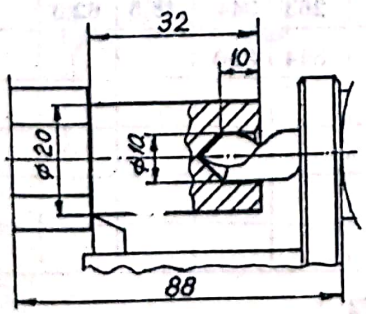


Material			Operaţia	1
Simbol		CuZn 37	Pagina	1
Starea		tras la rece	Pagini	1
Duritatea		HA	Bucăţi pe fabricat	2
Execuţie		mijlocie		
Dimensiuni		S 22	Copia nr.	
Greutate	Brută			
	Netă			

S.D.V.-uri					
Poz.	Tăietoare	Poz.	Ajutătoare	Poz.	Control
16	17	18	19	20	21	22







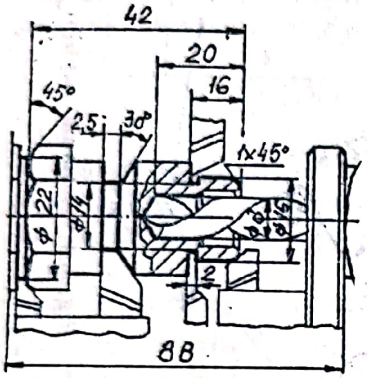
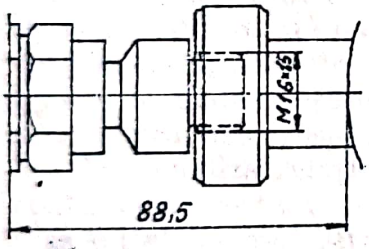
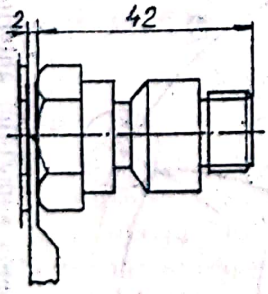
I			LN—1632		
II	Burghiu ∅ 15 STAS 4566-67		LN—1480		Şubler
III	Cuţit Rp 3		LN—1481/1		Şubler
	Burghiu ∅ 10				
IV	STAS 4566-67				
	Burghiu ∅ 8		LN—1481/1		Şubler
	Cuţit Rp 3				

Scanned with OKEN Scanner

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cap revolver — CR	V	Schimbare turație și sens						7		230	237			
		Filetare M 16 × 1,5	23,5	18	1,5	55	55		19	237	256	74	92	88,5
		Schimbare turație și sens						7		256	263			
		Revenirea filierei						(6)		(263)	(269)			
		Retragere, schimbare CR × 2						(20)		(269)	(289)			
Suporți	posterior S_1	Apropiere longitudinală						(32)		(81)	(113)			
		Apropiere transversală						(20)		(113)	(133)			
		Strunjire longitudinală ∅ 16 × 16	122	17	0,10	170	170		58	133	191	75,5	92,5	
		Retragere transversală						16		191	207			
		Retragere longitudinală						(20)		(207)	(227)			
	anterior S_2	Apropiere						(20)		(135)	(155)			
		Strunjire profilată Φ 14	137	6,5	0,03	(216)	(220)		(75)	(155)	(230)	56	62,5	
		Retragere						(16)		(230)	(246)			
	vertical S_3	Apropiere						(20)		(187)	(207)			
		Degajare ∅ 14 × 2	145	2	0,03	67	67		23	207	230	60,5	62,5	
		Retragere						(16)		(230)	(246)			
	vertical S_4	Apropiere						(20)		(243)	(263)			
		Retezare	84	14	0,06	235	235		81	263	344	48,5	62,5	
		Retragere						16		344	360			
TOTAL						794	798	88	272					

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.1.5 (continuare)

16	17	18	19	20	21	22
		Filieră M 16 × 1,5		LN—1554		Calibru de filet
		STAS 1160-69				M 16 × 1,5
	VI			Rămine liber		
	S_1	Cuțit Rp 3		LN—1421		Șubler
						
						Șubler
	S_2	Cuțit profilat Rp 3		LN—1422		Șablon
	S_3	Cuțit profilat Rp 3		LN—1455		Șubler
						
	S_4	Cuțit retezat Rp 3		LN—1455		Șubler
Bucșă de strîngere		Bucșă de avans				
LN—1682/1		LN—1682/2				

Scanned with OKEN Scanner

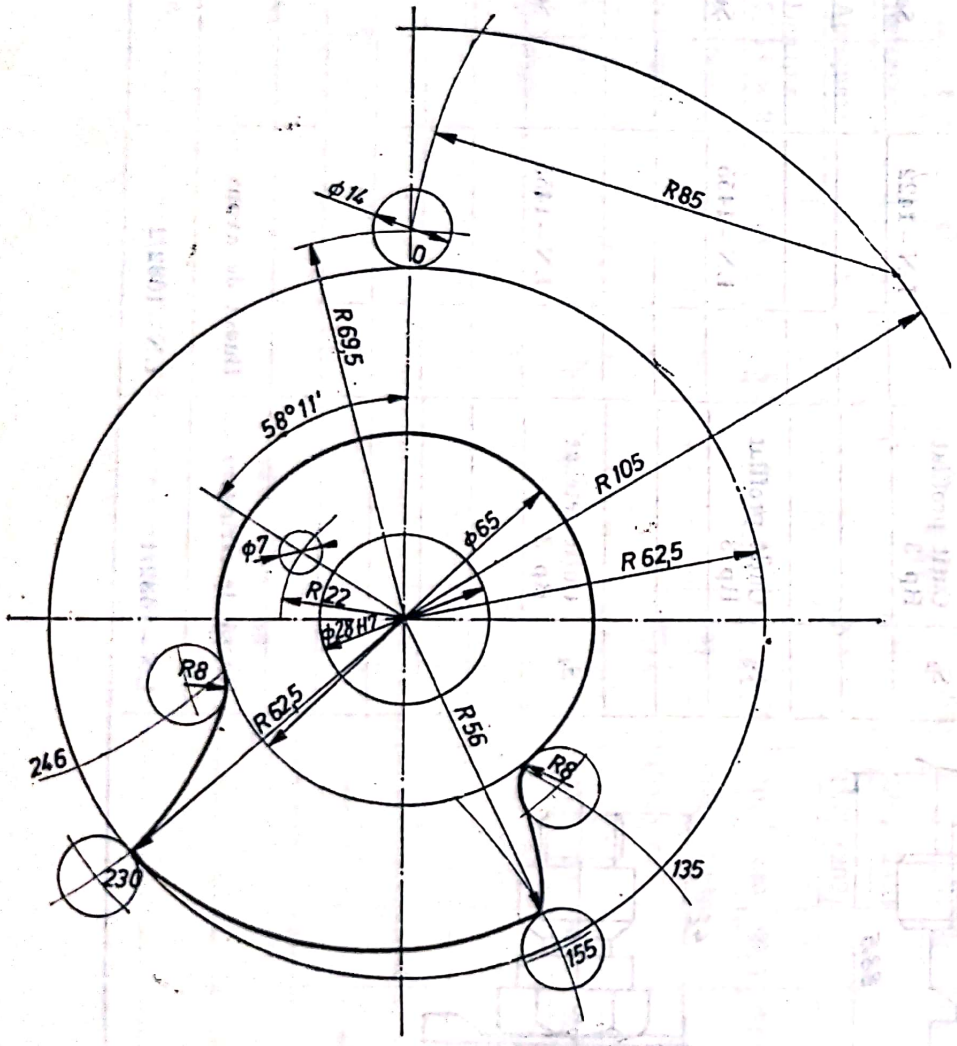


Fig. 5.1.22. Cama suportului anterior S_2.

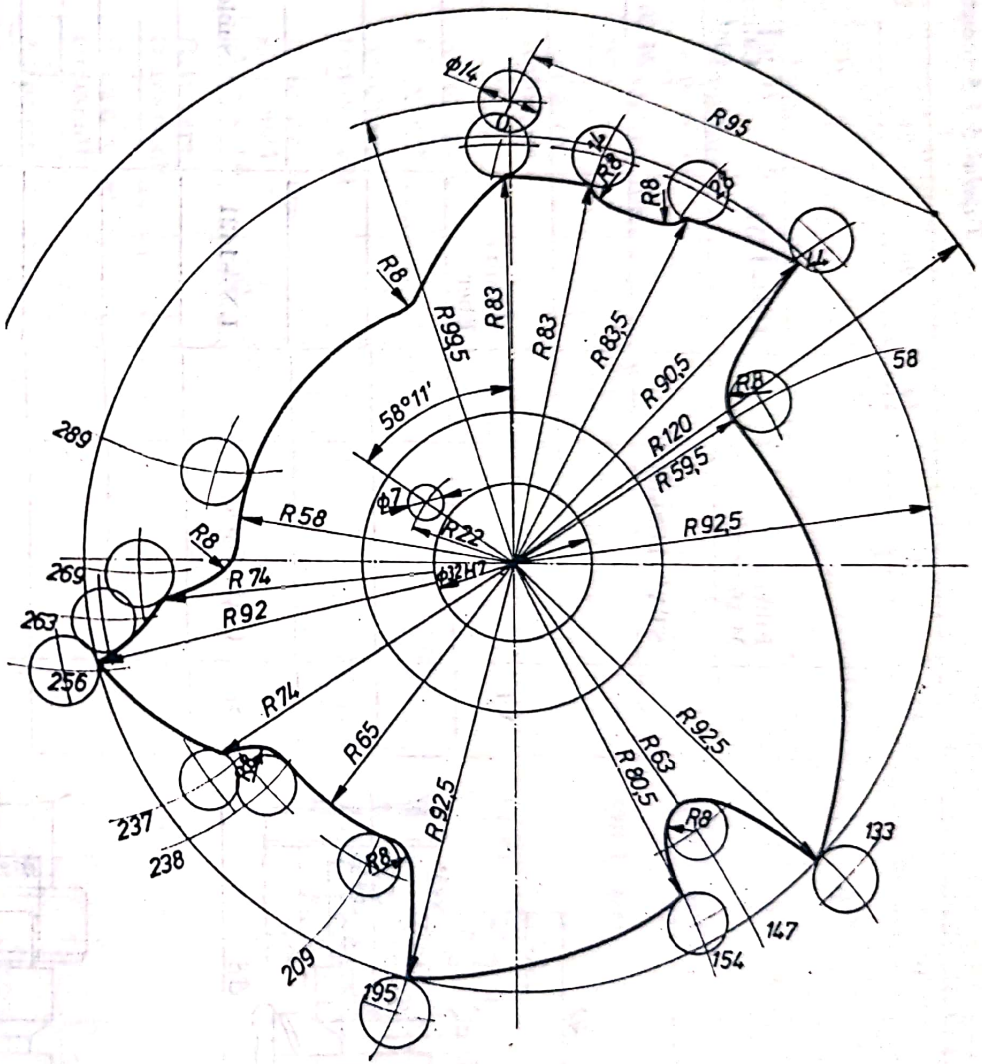


Fig. 5.1.21. Cama capului revolver.

5.2. CĂI CARE CONDUC LA REDUCEREA COSTULUI

Condiţiile de calitate sînt impuse produselor de inginerii constructori, iar costul produselor respective este funcţie directă de priceperea inginerilor tehnologi.

Criteriul de bază al aprecierii eficacităţii oricărei întreprinderi este *costul produselor*.

Inginerul tehnolog trebuie să proiecteze astfel de procese tehnologice de prelucrare şi să coreleze în aşa fel toţi factorii care concură în procesul de producţie, încît produsul realizat să îndeplinească toate condiţiile de calitate impuse şi să aibă un cost minim.

În cele ce urmează se mai indică în plus cîteva căi, care duc la reducerea costului şi se accentuează cele prezentate în capitolul amintit. În acest scop se redă relaţia costului unui produs sub următoarea formă:

$$C = \sum_{i=1}^{p} M_i + \sum_{i=1}^{m} \left[Q + P + I + 1 + \frac{\alpha_1 + \alpha_3}{100} \right) z \Big] + C_{PF}, \qquad (5.2.1)$$

în care: M_i reprezintă cheltuieli pentru materiale după reţinerea costului deşeurilor; Q — cheltuieli de amortizare şi întreţinere, respectiv exploatarea utilajelor, raportate la unitatea de produs; P — cheltuieli cu amortizarea şi exploatarea dispozitivelor şi a altor echipamente tehnologice raportate la unitatea de produs; I — cheltuieli cu amortizarea şi exploatarea sculelor raportate la unitatea de produs; α_1 — cotă procentuală din retribuţie pentru cheltuieli sociale; α_3 — procentul cheltuielilor de regie adăugate la cheltuielile cu retribuţia (la determinarea acestui procent în suma cheltuielilor de regie pentru perioada de timp dată nu se mai includ cheltuielile de regie şi cele de amortizare a utilajelor, dispozitivelor şi sculelor); p — numărul de mărci diferite de materiale consumate pe unitatea de produs; m — numărul de operaţii în care este confecţionată o unitate de produs; z — cheltuieli legate de plata retribuţiei; C_{PF} — cheltuieli făcute cu pregătirea fabricaţiei pentru produsul respectiv raportate la unitatea de produs.

Din analiza relaţiei costului unui produs rezultă căile pentru reducerea continuă a acestuia.

Astfel, primul termen component al costului unui produs este format din *cheltuielile pentru materialele consumate* pentru realizarea produsului respectiv.

Cheltuielile pentru materiale pot fi exprimate prin relaţia cunoscută, însă redată nu pentru o singură piesă, ci pentru toate piesele componente ale unui produs:

$$M = \sum_{i=1}^{p} G_{np} P_{c\,kg\,m} + G_d (P_{c\,kg\,m} - P_{c\,kg\,d}), \qquad (5.2.2)$$

în care: G_{np} este masa netă a unei piese; $P_{c\,kg\,m}$ — costul unui kg de material; G_d — greutatea deşeurilor; P_{ckg} — costul unui kg de deşeuri.

Din relaţia (5.2.2) se vede că pentru reducerea cheltuielilor cu materialele există următoarele căi de bază:

1 — reducerea masei nete a pieselor;

2 — utilizarea materialelor ieftine (cu P_{Ckgm} cît mai mic);

3 — utilizarea de semifabricate, care să aibă forma şi dimensiunile cît mai apropiate de a pieselor finite, pentru ca masa deşeurilor să fie cît mai redusă (adică G_d cît mai mic);

4 — executarea în aşa fel a pieselor din semifabricate încît deşeurile rezultate să poată fi utilizate pentru confecţionarea de alte diverse piese (adică, P_{Ckgd} cît mai ridicat).

Scanned with OKEN Scanner

Prima cale trebuie să fie urmată de inginerii proiectanți în sensul de a face calculele de dimensionare pe baza celor mai recente relații de calcul, în așa fel încît piesele să nu fie supradimensionate nemotivat.

Cea de-a doua cale trebuie să fie urmată atît de inginerii proiectanți cît și de inginerii tehnologi. Inginerii proiectanți trebuie să stabilească cît mai exact posibil eforturile la care este supusă fiecare piesă în timpul exploatării, pentru a putea face o dimensionare corectă și pentru a putea prescrie materiale mai ieftine acolo unde este posibil acest lucru. În acest sens se poate da exemplul înlocuirii pieselor din oțel din componența diferitelor mașini cu piese din fontă nodulară și anume, arborele cotit și arborele cu came din motorul autocamioanelor, precum și o serie de pîrghii, furci etc.

În foarte multe cazuri se obține o economie însemnată de metal prin înlocuirea metalului cu materiale plastice.

Inginerii tehnologi pot și ei urma această cale de reducere a cheltuielilor pentru materiale, prin aplicarea unor tratamente termice speciale sau a unor metode moderne de prelucrare, ca de exemplu ecruisarea stratului superficial pentru mărirea durabilității acestuia și ridicarea rezistenței la solicitări variabile și la uzură (la o epruvetă din oțel 40 HNVA cu $\tau_r = 600$ MPa prin ecruisarea stratului superficial s-a ridicat rezistența la solicitări variabile de încovoiere, rezistînd la 2 700 000 cicluri față de 700 000 cicluri).

De asemenea, înlocuirea prelucrării prin așchiere a unor piese cu executarea lor prin deformare la rece prin lovire rotativă, pe lîngă îmbunătățirea proprietăților fizico-mecanice ale pieselor, se elimină complet pierderea de metal prin așchii [26].

Utilizarea semifabricatelor cu forma și dimensiunile cît mai apropiate de ale pieselor finite constituie una din căile cele mai eficiente de reducere a cheltuielilor pentru materiale și implicit a costului produselor.

Utilizarea unor astfel de semifabricate duce nu numai la realizarea de economii însemnate de material, ci și la reducerea considerabilă a volumului de muncă pentru prelucrările mecanice. Astfel de exemplu, trecerea de la forjarea arborelui cotit la matrițarea în matrițe închise adus la o economie de metal de 2,4 ori, iar volumul de muncă pentru prelucrările prin așchiere s-au redus cu 59% (de la 40,6 ore la 19 ore).

De asemenea, trecerea de la matrițarea clasică la matrițarea oțelului în stare lichidă ridică coeficientul de utilizarea materialului de la 20% la 50%.

Trecerea de la turnarea în forme de pămînt la turnarea în cochile duce la reducerea consumului de metal în medie cu 20%, iar a volumului de muncă pentru prelucrările mecanice cu aproximativ 30%.

Economii mari de metal se obțin și la înlocuirea semifabricatelor turnate cu semifabricate matrițate sau sudate sau matrițate și parțial sudate. În acest mod se reduce consumul de metal în medie cu 75—80%, volumul de muncă pentru prelucrările ulterioare cu 70%, iar costul tehnologic cu aproximativ 65%.

Cu cît costul deșeurilor rezultate din prelucrarea pieselor dintr-un semifabricat oarecare este mai ridicat, cu atît mai mică va fi ponderea costului materialului din care se confecționează piesele, asupra costului lor.

Astfel de deșeuri se obțin la burghierea cu burghie tubulare. „Cepurile" rămase de la aceste burghieri pot fi utilizate pentru confecționarea diferitelor piese al căror cost este cu mult mai mic decît dacă piesele respective s-ar fi executat de exemplu din bară laminată.

Cheltuielile pentru amortizarea și întreținerea, respectiv exploatarea utilajelor au o pondere mare în balanța costului unui produs. Pentru ca cheltuielile făcute cu amortizarea, întreținerea și exploatarea utilajelor să fie cît mai mici, trebuie ca tehnologii să utilizeze numai utilaje ieftine și cît mai

Scanned with OKEN Scanner

productive. Astfel de utilaje sînt agregatele confecționate din ansamble normalizate, cu un grad mare de universalitate, ansamble care pot fi utilizate pentru realizarea unei game mari și variate de agregate. Agregatele respective trebuie să fie dotate cu elemente de automatizare de asemenea normalizate, pentru automatizarea cît mai completă a ciclului de lucru.

Cheltuielile cu amortizarea și exploatarea dispozitivelor și a altor echipamente tehnologice au de asemenea o influență mare asupra costului produsului. Aceste cheltuieli pot fi reduse, dacă se proiectează dispozitive cu un cost cît mai redus, dispozitive confecționate din elemente normalizate în mare parte demontabile și cu un grad ridicat de automatizare a strîngerii și desprinderii pieselor.

Cheltuielile cu amortizarea și exploatarea sculelor au o pondere în multe cazuri mai mare asupra costului produsului decît cele făcute cu dispozitivele, mai ales atunci cînd piesele care se prelucrează sînt confecționate din metale sau materiale greu prelucrabile, pentru prelucrarea cărora consumul de scule este mare. Pentru reducerea consumului de scule se impun mai multe măsuri dintre care enumerăm: interzicerea ascuțirii lor de către muncitorii care le exploatează; ascuțirea centralizată; lepuirea muchiilor așchietoare după ascuțire sau ascuțirea de finisare cu discuri cu praf de diamant cu o granulație fină, pentru asigurarea unei calități superioare a suprafețelor active ($R_a = 0{,}2 \ldots 0{,}1$ μm); așchierea cu utilizarea lichidelor de răcire-ungere în stare pulverizată sau utilizarea bisulfurii de molibden pentru ungere în scopul reducerii uzurii sculelor [27].

Cheltuielile legate de scule pot fi reduse chiar de la proiectare. În acest sens se recomandă ca proiectarea sculelor să se facă după scula generalizată, cu ajutorul calculatoarelor electronice [64]. Se recomandă de asemenea, utilizarea sculelor cu un grad cît mai ridicat de universalitate.

Cheltuielile făcute cu plata retribuției pot fi reduse, după cum se vede din relația:

$$Z = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{sz_1}{f_1} + \frac{sz_2}{f_2} \right) \frac{\tau}{60}, \qquad (5.2.3)$$

în care: s este retribuția pe oră pentru prima categorie de retribuție; z_1 — coeficient al categoriei de retribuție determinat din normele de retribuție; f_1 — numărul de utilaje deservite simultan de un singur muncitor; z_2 — coeficient al categoriei de retribuție pentru reglorul care deservește utilajul respectiv; f_2 — numărul de utilaje deservite de un reglor.

Reducerea cheltuielilor făcute cu plata retribuției se poate face prin:

— reducerea timpului de lucru pe operație (în acest timp se include și cota parte din timpul de pregătire-încheiere); m este numărul total de operații necesare executării unei unități de produs și acesta poate fi redus în primul rînd prin micșorarea timpului de lucru;

— mărirea numărului de utilaje (mașini) deservite simultan de un singur muncitor f_1 și un singur reglor f_2;

— reducerea categoriei de retribuție pentru operația respectivă prin simplificarea ei;

— reducerea numărului de operații necesare unei unități de produs.

Cheltuielile făcute cu pregătirea fabricației unui produs și cu timpul de pregătire a fabricației.

În această grupă de cheltuieli includem numai acele cheltuieli a căror reducere intră în competența inginerului tehnolog (și parțial a inginerului proiectant de utilaje, respectiv de mașini-unelte, deoarece acesta trebuie să

Scanned with OKEN Scanner

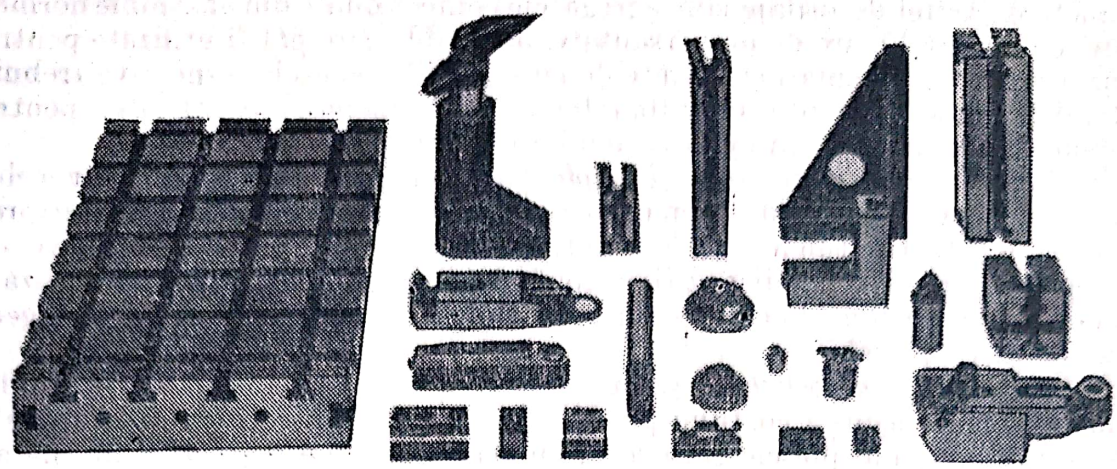


Fig. 5.2.1. Elementele normalizate pentru confecționarea dispozitivului din figura 5.2.2.

proiecteze mașinile-unelte la cererea și indicațiile inginerului tehnolog) și anume: cheltuielile făcute cu proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare; cheltuielile făcute cu proiectarea și executarea utilajelor speciale; cheltuielile făcute cu proiectarea și executarea SDV-urilor necesare.

Cheltuielile făcute cu pregătirea fabricației și timpul de pregătire al acesteia se pot reduce în:

1 — producția de serie mare și masă dacă întreprinderea merge pe calea tehnologiei tipizate; utilizarea SDV-urilor cu un grad cît mai mare de universalitate; prelucrarea pieselor și asamblarea acestora pe linii tehnologice „elastice" (care permit trecerea ușoară de la prelucrarea unei piese sau asamblarea unui produs la prelucrarea altei piese sau asamblarea altui produs);

2 — producția de serie mică, dacă întreprinderea merge pe una din următoarele căi: pe calea tehnologiei de grup, utilizînd utilajele universale și cele de înaltă productivitate din producția de serie mare și masă, dotate cu SDV-uri de grup; pe calea utilizării mașinilor-unelte cu comandă după program.

O cale intermediară este aceea de utilizare pe scară largă a dispozitivelor demontabile confecționate din elemente normalizate, care reduc foarte mult timpul de confecționare al dispozitivelor, timp care ajunge să fie egal doar numai cu timpul de asamblare al lor 92.

În figura 5.2.1 se văd elementele normalizate din care este confecționat dispozitivul din figura 5.2.2, *a* și *b*. Pentru a scoate mai mult în evidență posibilitățile largi și eficiența economică mare pe care o oferă utilizarea acestor dispozitive, în figura 5.2.3 este prezentat un dispozitiv de burghiat cu bucșe de conducere pentru o piesă de complexitate ridicată (proiectarea unui dispozitiv clasic necesită un timp mult mai mare pentru proiectare și execuție decît dispozitivul din figură).

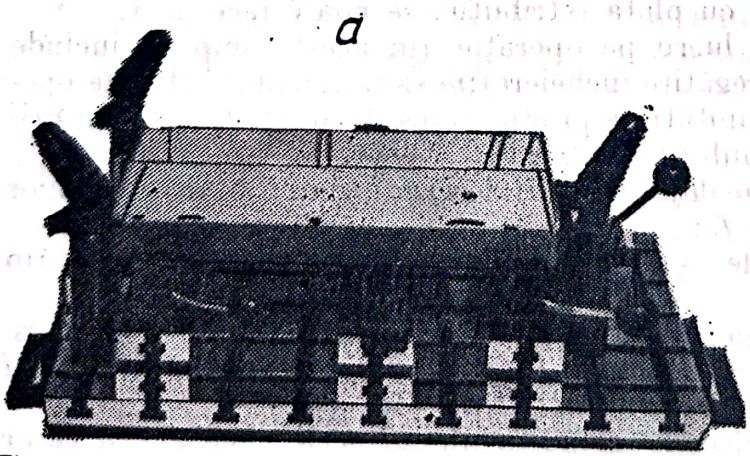


Fig. 5.2.2. Dispozitiv de burghiat demontabil confecționat din elemente normalizate:
a — cu piesa fixată pentru prelucrare;

Scanned with OKEN Scanner

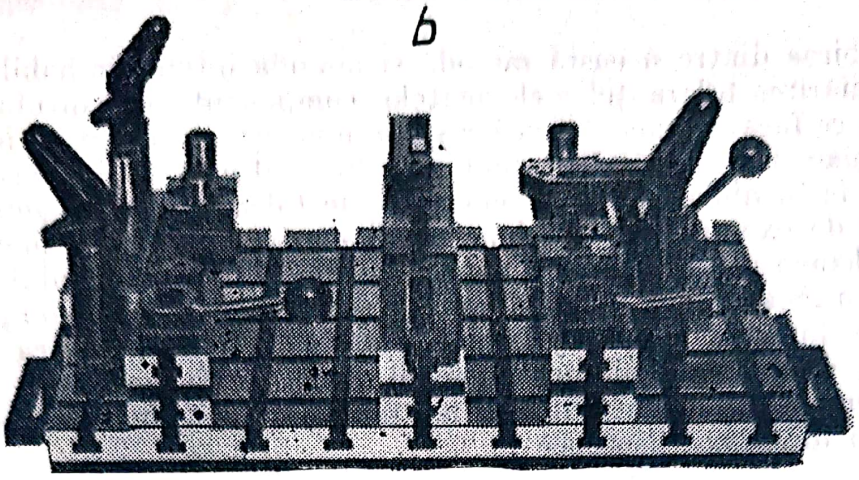


Fig. 5.2.2. Dispozitiv de burghiat demontabil confecționat din elemente normalizate:
b — fără piesă.

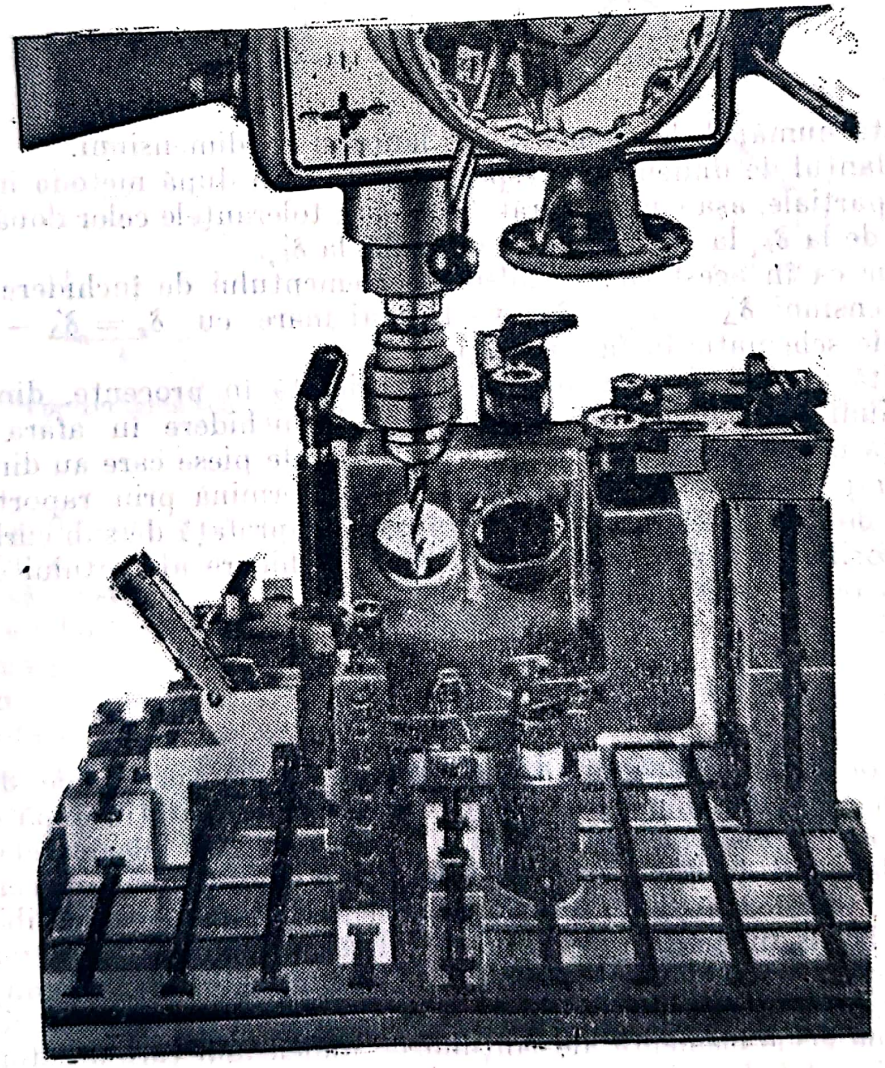


Fig. 5.2.3. Dispozitiv de burghiat cu bucșe de conducere, demontabil, confecționat din elemente normalizate.

Scanned with OKEN Scanner

5.2.1. PRELUCRAREA CU TOLERANȚE MĂRITE, APLICÎND METODA INTERSCHIMBABILITĂȚII PARȚIALE

Deosebirea dintre această metodă și metoda interschimbabilității totale constă în mărirea toleranțelor elementelor componente ale lanțului de dimensiuni, ceea ce face ca executarea lor să fie mai ușoară și mai ieftină. În acest caz însă apare riscul ca un procent mic din lanțurile de dimensiuni să aibă elementul de închidere în afara cîmpului de toleranță impus inițial.

Astfel de exemplu, fie un lanț de dimensiuni cu trei elemente (E_1, E_2 și E_Δ — elementul de închidere al acestui lanț). Pentru simplificarea calculelor care urmează, se consideră că toleranțele celor două componente ale lanțului de dimensiuni sînt egale între ele, adică $\delta_{E1} = \delta_{E2}$ și că dispersarea erorilor lor se supune legii lui *Gauss* de dispersie. În acest caz și dispersia erorilor elementului de închidere al lanțului de dimensiuni se supune de asemenea legii lui *Gauss*, deoarece

$$\sigma_{E\Delta} = \sqrt{\sigma^2_{E_1} + \sigma^2_{E_2}}. \qquad (5.2.4)$$

Dacă pentru rezolvarea acestui lanț de dimensiuni se folosește metoda interschimbabilității totale, reprezentată schematic în figura 5.2.4, atunci avînd toleranța elementului de închidere egală cu $\delta_{E\Delta}$, toleranța fiecărui element component al lanțului de dimensiuni trebuie să fie:

$$\delta_{E1} = \delta_{E2} = \frac{\delta_{E\Delta}}{m-1} = \frac{\delta_{E\Delta}}{2}, \qquad (5.2.5)$$

unde m este numărul de elemente ale lanțului de dimensiuni.

Dacă lanțul de dimensiuni respectiv se rezolvă după metoda interschimbabilității parțiale, așa cum s-a arătat mai sus, toleranțele celor două elemente se măresc de la δ_{E_1} la δ'_{E_1}, respectiv de la δ_{E_2} la δ'_{E_2}.

Desigur că în acest caz și toleranța elementului de închidere al lanțului de dimensiuni $\delta'_\Delta = \delta_{E_1} + \delta_{E_2}$, va fi mai mare cu $\delta_k = \delta'_\Delta - \delta_\Delta$, după cum se vede schematic în figura 5.2.4.

Datorită acestei situații, o parte, exprimată în procente, din lanțurile de dimensiuni au dimensiunile elementului de închidere în afara cîmpului de toleranță prescris de constructor. Cantitatea de piese care au dimensiunile în afara cîmpului de toleranță prescris δ_Δ se determină prin raportul dintre suma celor două suprafețe hașurate și întreaga suprafață de sub curba de dispersie a erorilor dimensiunii elementului de închidere al lanțului de dimensiuni, după relația cunoscută:

$$P = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx. \qquad (5.2.6)$$

La baza metodei prezentate de rezolvare a lanțurilor de dimensiuni stă una din cele mai cunoscute teze ale teoriei probabilității, după care combinațiile posibile ale valorilor limită a erorilor tuturor elementelor componente ale lanțului de dimensiuni se întîlnesc mult mai rar decît combinațiile posibile ale valorilor medii a acestora, ceea ce face ca procentul posibil de piese la care erorile ies din limitele cîmpului de toleranță impus să fie extrem de mic.

Executînd toate elementele lanțului de dimensiuni cu toleranțe mărite se obțin economii mult mai mari decît cheltuielile de manoperă și material provocate de acele elemente ale lanțului de dimensiuni care au dimensiunile în afara cîmpului de toleranță impus. De aceea, această metodă de rezolvare

Scanned with OKEN Scanner

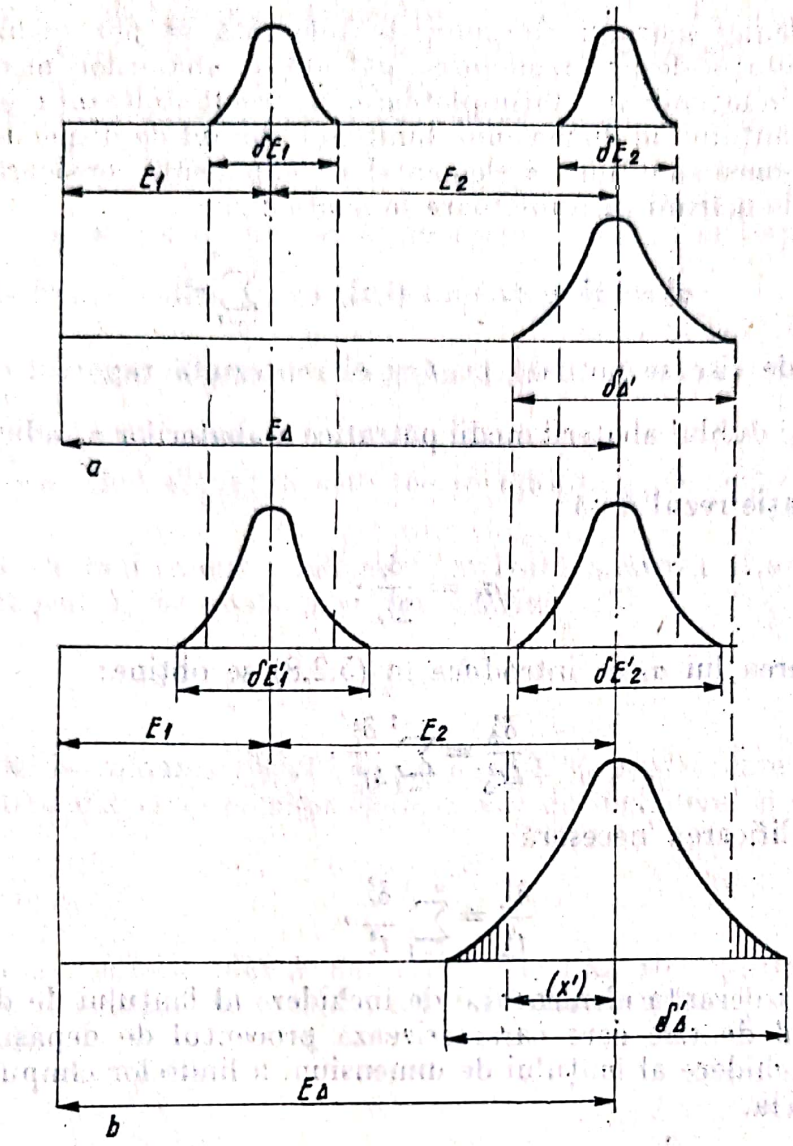


Fig. 5.2.4. Reprezentarea schematică comparativă a rezolvării unui lanț de dimensiuni după metoda interschimbabilității:
a — totale și *b* — parțiale.

a lanțului de dimensiuni, care stă la îndemîna inginerului tehnolog, este mult mai economică și rațională decît metoda interschimbabilității totale. Economia realizată crește pe măsură ce cresc pretențiile asupra preciziei elementului de închidere a lanțului de dimensiuni și cu cît numărul de elemente ale acestuia este mai mare.

Pentru a se putea utiliza această metodă trebuie să se respecte condițiile prezentate în cele ce urmează.

Calculul mărimii coordonatei mijlocului de toleranță sau a valorilor medii trebuie să fie făcut utilizînd relația

$$\Delta_{0\Delta} = \sum_{i=1}^{n} \Delta_{0_i} - \sum_{n+1}^{m-1} \Delta_{0_i}, \qquad (5.2.7)$$

în care $\Delta_{0\Delta}$ și Δ_{0_i} reprezintă mărimile coordonatelor elementelor inițiale și ale primului element al lanțului de dimensiuni; n — numărul sau capacitatea de elemente mărite; m — numărul total de elemente ale lanțului de dimensiuni.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru calculul mărimii cîmpului de toleranță se pot utiliza regulile teoriei probabilității despre însumarea pătrată a abaterilor medii pătrate ale mărimilor independente întîmplătoare. Întrucît toleranța elementului de închidere a lanțului de dimensiuni limitează cîmpul de dispersie a erorilor generate de acțiunea simultană a elementelor componente considerate în acest caz în calitate de mărimi întîmplătoare se poate scrie:

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \ldots + \sigma_{m-1}^2 = \sum_{i=1}^{m-1} \sigma_i^2. \tag{5.2.8}$$

Procentul de risc se notează cu t și el reprezintă raportul dintre toleranța stabilită și dublul abaterii medii pătratice a abaterilor σ_t, adică $t_t = \frac{\delta_t}{2\sigma_t}$.

Din această relație rezultă că

$$\sigma_t = \frac{\delta_t}{2t_t}.$$

Dacă valoarea lui σ_i se introduce în (5.2.8) se obține:

$$\frac{\delta_{\Delta}^2}{4t_{\Delta}^2} = \sum_{i=1}^{m-1} \frac{\delta_i^2}{4t_i^2}, \tag{5.2.9}$$

sau după simplificarea necesară:

$$\frac{\delta_{\Delta}^2}{t_{\Delta}^2} = \sum_{i=1}^{m-1} \frac{\delta_i^2}{t_i^2}, \tag{5.2.10}$$

în care δ_{Δ} este toleranța elementului de închidere al lanțului de dimensiuni; t_{Δ} — coeficientul de risc care caracterizează procentul de depășiri de către elementul de închidere al lanțului de dimensiuni a limitelor cîmpului de toleranță al acestuia.

Dacă se notează $\frac{1}{t_i^2}$ cu λ_i^2 se va obține relația pentru calculul mărimii cîmpurilor de toleranță în cazul utilizării acestei metode de rezolvare a lanțurilor de dimensiuni cu scopul de a ridica eficiența economică a procesului tehnologic de prelucrare a pieselor. Astfel se obține:

$$\frac{\delta_{\Delta}^2}{t_{\Delta}^2} = \sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i' \, \delta_i^2, \tag{5.2.11}$$

în care λ'_i este coeficient care caracterizează legea de dispersie a erorilor celui de al i-lea element al lanțului de dimensiuni.

Mai întîi se calculează mărimea medie a toleranțelor elementelor componente ale lanțurilor de dimensiuni, lucru pentru care relația precedentă se scrie sub o altă formă:

$$\delta_{med} = \frac{\delta_{\Delta}}{t_{\Delta} \sqrt{\lambda'_{med}(m-1)}}. \tag{5.2.12}$$

Cunoscînd valoarea lui δ_{Δ} și numărul de elemente din lanț m și admițînd un procent de risc, din tabelul 5.2.1 se scoate valoarea corespunzătoare a coeficientului de risc t_{Δ}.

Scanned with OKEN Scanner

În funcție de procesul tehnologic proiectat și de condițiile existente în care se desfășoară, se alege legea de dispersie a erorilor elementelor componente ale lanțului de dimensiuni și în funcție de aceasta valoarea lui λ'_{med}.

Cu o precizie suficient de mare pentru calculele practice se pot utiliza următoarele valori pentru λ'_i:

$\lambda'_i = \frac{1}{3}$ — în cazul cînd se alege legea probabilității egale sau cînd nu se cunoaște nimic despre forma curbei de dispersie;

$\lambda'_i = \frac{1}{6}$ — cînd dispersia se supune legii lui *Simson*;

$\lambda'_i = \frac{1}{9}$ — cînd dispersia este foarte apropiată de legea lui *Gauss*.

În calcule mai exacte, cînd este motivată alegerea altor legi de dispersie, coeficientul λ'_i se poate găsi din relația:

$$\lambda'_i = \frac{k_i^2}{t_\Delta^2}. \qquad (5.2.13)$$

Dacă se ia valoarea riscului egală cu 0,27% pentru care $t_\Delta = 3$ (tabelul 5.2.1), pentru dispersia erorilor elementului de închidere se obține:

$$\lambda'_i = \frac{k_i^2}{3^2}. \qquad (5.2.14)$$

Valoarea coeficientului k din relația de mai sus, pentru a putea afla mărimea coeficientului λ'_i, se ia din tabelul 5.2.1 cu valori pentru diferite legi de dispersie.

Tabelul 5.2.1

Valorile coeficientului de risc t_Δ funcție de procentul de risc P

P, %	32	10	4,5	1,0	0,27	0,1	0,01
t_Δ	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

Trebuie să se arate că relația (5.2.12) este aproximativă, iar gradul de aproximație se mărește cu creșterea numărului de elemente din lanțul de dimensiuni și a aproximației legii de dispersie a erorilor în raport cu *legea lui Gauss*. Din această cauză relația amintită se poate utiliza atunci cînd numărul de elemente din lanț adică $(m - 1) \geqslant 3$, dacă se alege *legea lui Gauss* de dispersie a erorilor elementelor respective sau atunci cînd $(m - 1) \geqslant 4$, legea de dispersie aleasă este *legea lui Simson*, precum și atunci cînd $(m - 1) \geqslant 6$, legea de dispersie aleasă fiind apropiată de cea a probabilității egale. iar

Pentru a se înțelege mai bine cele arătate pînă aici, se prezintă următorul exemplu:

Scanned with OKEN Scanner

Se dă toleranța elementului de închidere a lanțului de dimensiuni $\delta_\Delta = 0{,}05$ mm, $m = 7$, iar coecifientul de risc se admite egal cu 0,27 %.

Se presupune că toleranțele elementelor componente ale lanțului de dimensiuni sînt egale între ele, adică: $\delta_1 = \delta_2 \ldots = \delta_{m-1}$, iar coeficienții $\lambda'_1 = \lambda'_2 = \ldots = \lambda'_{m-1}$.

Înlocuind datele cunoscute în relația (5.2.12) se obține:

$$\lambda'_{med} = \frac{1}{3},\quad \lambda'_{med} = \frac{\delta_\Delta}{t_\Delta \sqrt{\lambda'_{med}\,(m-1)}} = \frac{0{,}05}{3\sqrt{2}} = 0{,}012 \text{ mm};$$

$$\lambda'_{med} = \frac{1}{6},\quad \delta'_{med} = \frac{\delta_\Delta}{t_\Delta \sqrt{\lambda'_{med}\,(m-1)}} = \frac{0{,}05}{3\sqrt{1}} = 0{,}018 \text{ mm};$$

$$\lambda'_{med} = \frac{1}{9},\quad \delta'_{med} = \frac{\delta_\Delta}{t_\Delta \sqrt{\lambda'_{med}\,(m-1)}} = \frac{0{,}05}{3\sqrt{\frac{3}{2}}} = 0{,}020 \text{ mm}.$$

Dacă lanțul de dimensiuni dat se rezolvă după metoda interschimbabilității totale, toleranța medie a elementelor componente ale lanțului va fi:

$$\delta_{med} = \frac{\delta_\Delta}{m-1} = \frac{0{,}05}{7-1} = 0{,}008 \text{ mm}.$$

Din exemplul dat se vede că metoda interschimbabilității parțiale permite ca pentru un procent de risc relativ mic (respectiv 0,27%) să se poată mări foarte mult toleranța medie a elementelor componente ale lanțului de dimensiuni, în comparație cu toleranța medie rezultată din cazul utilizării metodei interschimbabilității totale.

Mărirea relativă a toleranței medii rezultă ușor din raportul relațiilor care exprimă valoarea toleranței medii în cazul interschimbabilității parțiale (5.2.12) și a interschimbabilității totale $\left(\delta_{med} = \frac{\delta_\Delta}{m-1}\right)$:

$$M_r = \frac{\delta_\Delta}{\frac{t_\Delta \sqrt{\lambda'_{med}\,(m-1)}}{\delta_\Delta}} = \frac{1}{t_\Delta}\sqrt{\frac{m-1}{\lambda'_{med}}}. \qquad (5.2.15)$$

Mărirea relativă a toleranței medii mai rezultă și din raportul direct al valorilor obținute. Astfel:

$$M_{r_1} = \frac{0{,}012}{0{,}008} = 1{,}5;\ M_{r_2} = \frac{0{,}018}{0{,}008} = 2{,}25;\ M_{r_3} = \frac{0{,}020}{0{,}008} = 2{,}5.$$

Rezultă deci, că metoda interschimbabilității parțiale este evident superioară față de metoda interschimbabilității totale. Pentru un procent de rebut relativ mic inginerul tehnolog poate mări foarte mult toleranța medie, ceea ce face ca prelucrarea pieselor să devină foarte economicoasă.

După calculul toleranței medii cu ajutorul relației (5.2.12), valoarea rezultată se corectează în funcție de modul cel mai economic de execuție al elementelor componente ale lanțului de dimensiuni.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a verifica dacă a fost just calculul pentru stabilirea coordonatelor mijlocului cîmpului de toleranţă şi mărimea cîmpurilor de toleranţă se utilizează relaţiile:

$$\Delta_{\Delta max} = \sum_{i=1}^{k}\left(\Delta_{0i} + \alpha_i \frac{\delta_i}{2}\right) - \sum_{k+1}^{m-1}\left(\Delta_{0i} + \alpha_i \frac{\delta_i}{2}\right) + t_\Delta \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda' \delta_i^2}{2}}; \quad (5.2.16)$$

$$\Delta_{\Delta min} = \sum_{i=1}^{k}\left(\Delta_{0i} + \alpha_i \frac{\delta_i}{2}\right) - \sum_{k+1}^{m-1}\left(\Delta_{0i} + \alpha_i \frac{\delta_i}{2}\right) - t_\Delta \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i' \delta_i^2}{2}}, \quad (5.2.17)$$

unde $\Delta_{\Delta max}$ şi $\Delta_{\Delta min}$ reprezintă valoarea maximă, respectiv minimă a coordonatei mijlocului cîmpului de toleranţă a elementului de închidere a lanţului de dimensiuni; α — coeficientul asimetriei relative, (fig. 5.2.5):

$$\alpha = \frac{M_{(x)} - \Delta_\omega}{\frac{\omega_\Delta}{2}} \quad (5.2.18)$$

În continuare se prezintă modul de calcul al mărimii cîmpului de dispersie a erorii elementului de închidere şi a procentului depăşirii valorii lui, a limitelor toleranţei stabilite a piesei.

Relaţia (5.2.11) poate fi folosită şi pentru calculul mărimii cîmpului de dispersie ω_Δ a erorilor elementului de închidere a lanţului de dimensiuni pentru un procent oarecare de risc admis şi valori ale cîmpului de dispersie ω_i a elementelor componente, precum şi pentru o caracteristică oarecare a formei curbei de dispersie λ_i'.

Pentru acest lucru este suficient ca în relaţia amintită să se înlocuiască toleranţa elementului de închidere şi a elementelor componente δ_i ale lanţului de dimensiuni cu mărimile cîmpurilor de dispersie corespunzătoare ω_Δ, respectiv ω_i. Astfel se obţine:

$$\omega_\Delta = t_\Delta \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i' \omega_i^2}. \quad (5.2.19)$$

Dacă cîmpul de toleranţă a elementului de închidere este egal cu mărimea cîmpului de dispersie a acestuia, atunci din relaţia (5.2.19) se poate scoate valoarea mărimii procentului de risc t_Δ şi anume:

$$t_\Delta = \frac{\delta_\Delta}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^1 \omega_i^2}} \quad (5.2.20)$$

Fie astfel, de exemplu, $\delta_\Delta = 0{,}18$ mm; $m = 5$, iar cîmpurile de dispersie ale celor patru elemente componente ale lanţului de dimensiuni (afară de al elementului de închidere) egale cu:

$\omega_1 = 0{,}05$ mm; $\omega_2 = 0{,}1$ mm; $\omega_3 = 0{,}2$ mm; $\omega_4 = 0{,}08$ mm

$$\lambda_1' = \lambda_2' = \frac{1}{6}; \quad \lambda_3' = \frac{1}{3}; \quad \lambda_4' = \frac{1}{9}.$$

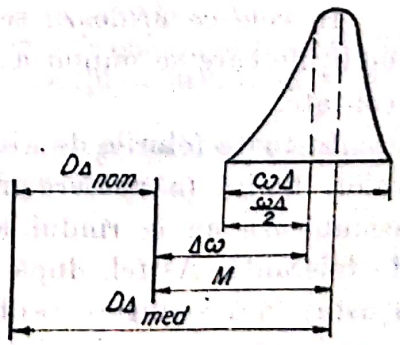


Fig. 5.2.5. Schema caracteristicii fenomenului de dispersie a erorilor dimensiunii elementului de închidere.

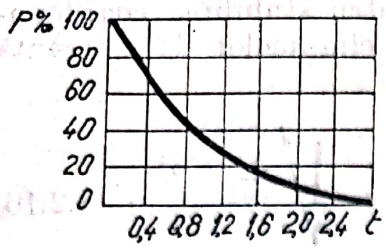


Fig. 5.2.6. Curba de variație a coeficientului de risc t în funcție de procentul de rebut P.

În acest caz, utilizînd relația (5.2.20) se obține:

$$t_\Delta = \frac{0{,}18}{\sqrt{0{,}01613}} = 1{,}417.$$

Din graficul reprezentat în figura 5.2.6 se găsește, pentru coeficientul $t = 1{,}417$, procentul posibil de piese ale căror dimensiuni au depășit limitele cîmpului de toleranță $\delta_\Delta = 0{,}18$ mm, procent egal aproximativ cu 15,7%.

Pentru ca procentul de rebut să nu fie depășit, trebuie ca piesele executate după această metodă, la asamblare să nu se aleagă, să nu se ajusteze, ci să se ia la întîmplare, cum se procedează în cazul în care piesele au fost prelucrate după metoda interschimbabilității totale.

5.2.2. PRELUCRAREA CU TOLERANȚE MĂRITE, APLICÎND METODA INTERSCHIMBABILITĂȚII DE GRUP (SELECTIVĂ)

În foarte multe cazuri în industria constructoare de mașini se impune executarea unor piese cu toleranțe foarte mici, de ordinul micronilor de milimetri sau chiar mai mici. Executarea pieselor cu toleranțe atît de mici este foarte dificilă, mai ales atunci cînd nu se dispune de utilaje speciale de înaltă precizie sau de cadre cu o calificare ridicată, ceea ce ridică foarte mult costul și reduce productivitatea.

În aceste cazuri inginerul tehnolog se poate folosi de metoda interschimbabilității de grup al cărei principiu constă în următoarele:

— toleranța foarte mică impusă pe desenul de execuție al pieselor δ se mărește de n ori, obținîndu-se o toleranță mai mare, numită *toleranța economică* δ_e sau *de fabricație* (adică $\delta_e = n\delta$). După prelucrarea tuturor pieselor din lot la această toleranță δ_e, ele se selectează prin măsurare cu instrumente de înaltă precizie în n grupe de dimensiuni cu toleranța fiecărei grupe egală chiar cu toleranța impusă pe desenul de execuție al pieselor, adică $\delta = \frac{\delta_e}{n}$. Cele n grupe de piese se numerotează cu numere de la 1 pînă la n, urmînd ca la asamblare piesele din grupa 1, de exemplu arbori, să se asambleze cu bucșele din aceeași grupă etc.

În cele ce urmează se prezintă modul de aplicare al acestei metode și condițiile care se impun a fi respectate, pentru a se putea obține rezultatele scontate.

În toate felurile de ajustaje, strîngerea sau jocul este cuprins între două valori limită (o valoare maximă și una minimă), deoarece piesele care se asamblează au la rîndul lor dimensiunile dispersate într-un cîmp oarecare de toleranță. Astfel, după cum se vede în figura 5.2.7, jocul maxim într-un ajustaj fără strîngere se obține atunci cînd alezajul este executat la limita superioară a dimensiunii admisibile, iar arborele la limita inferioară, iar jocul minim, în situația inversă, atunci cînd alezajul este executat la limita inferioară a dimensiunii, iar arborele la limita superioară. Într-un ajustaj fără

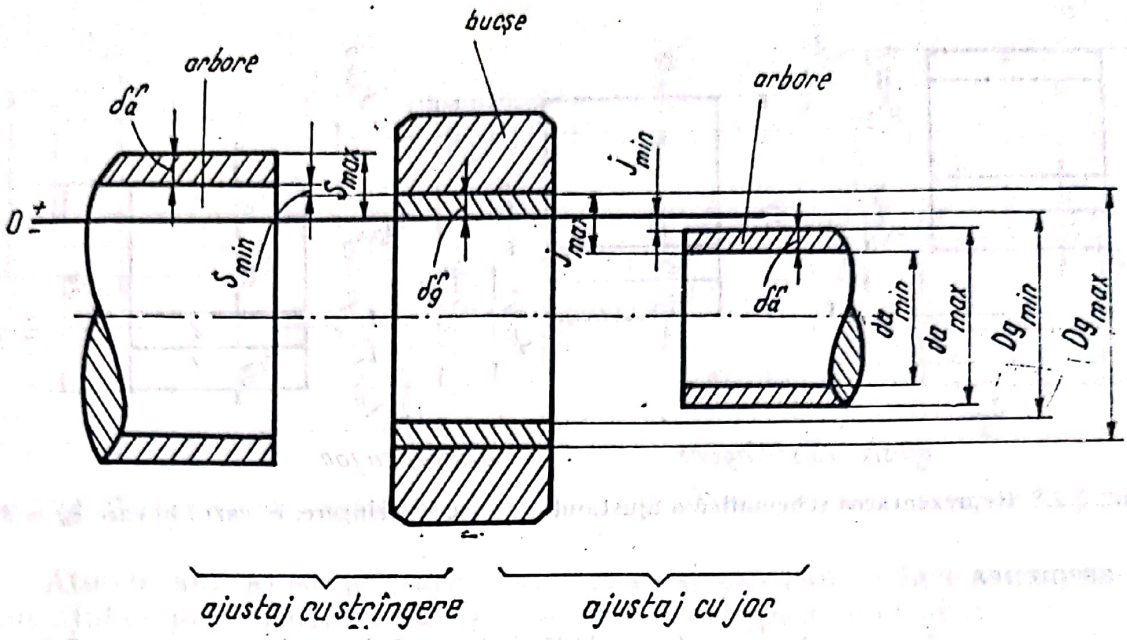


Fig. 5.2.7. Reprezentarea schematică a ajustajului cu joc şi cu strîngere, în care: δ_a^r, δ_g^r — toleranţa pe rază a dimensiunii arborelui, respectiv a alezajului; j_{max}, j_{min} — jocul maxim respectiv jocul minim a ajustajului; S_{max}, S_{min} — strîngerea maximă şi minimă a ajustajului.

strîngere, pentru funcţionarea corectă a asamblării trebuie ca între arbore şi alezaj să se realizeze un joc mediu care va fi:

$$j_{med} = \frac{j_{max} + j_{min}}{2}, \tag{5.2.21}$$

iar jocul maxim şi minim, după cum se vede din figura 5.2.7, va fi:

$$j_{max} = D_{gmax} - d_{amin}; \tag{5.2.22}$$

$$j_{min} = D_{gmin} - d_{amax}. \tag{5.2.23}$$

În practica utilizării de către inginerul tehnolog a acestei metode, în scopul măririi productivităţii şi reducerii costului, se întîlnesc trei cazuri şi anume:

1 — cînd toleranţa arborelui este egală cu toleranţa alezajului ($\delta_a = \delta_g$);
2 — cînd toleranţa arborelui δ_a este mai mică decît a alezajului ($\delta_a < \delta_g$);
3 — cînd toleranţa arborelui este mai mare decît a alezajului ($\delta_a > \delta_g$).

În continuare se analizează aceste trei cazuri.

1 — Toleranţa arborelui este egală cu toleranţa alezajului.

Pentru simplificarea reprezentării grafice a schemei de calcul, în figura 5.2.8 se reprezintă numai dispunerea cîmpurilor de toleranţă a arborelui şi alezajului pentru ajustajul cu joc şi cu strîngere.

Pentru a constata dacă la asamblarea pieselor din grupele n jocul mediu este influenţat de numărul n de grupe, se scrie că acesta este:

$$j_{med\,n} = \frac{j_{max\,n} + j_{min\,n}}{2}, \tag{5.2.24}$$

în care

$$j_{max\,n} = j_{max\,1} + (n-1)\delta_g^r - (n-1)\delta_a^r = j_{max\,1}, \tag{5.2.25}$$

deoarece în acest caz s-a admis $\delta_a^r = \delta_g^r$.

Scanned with OKEN Scanner

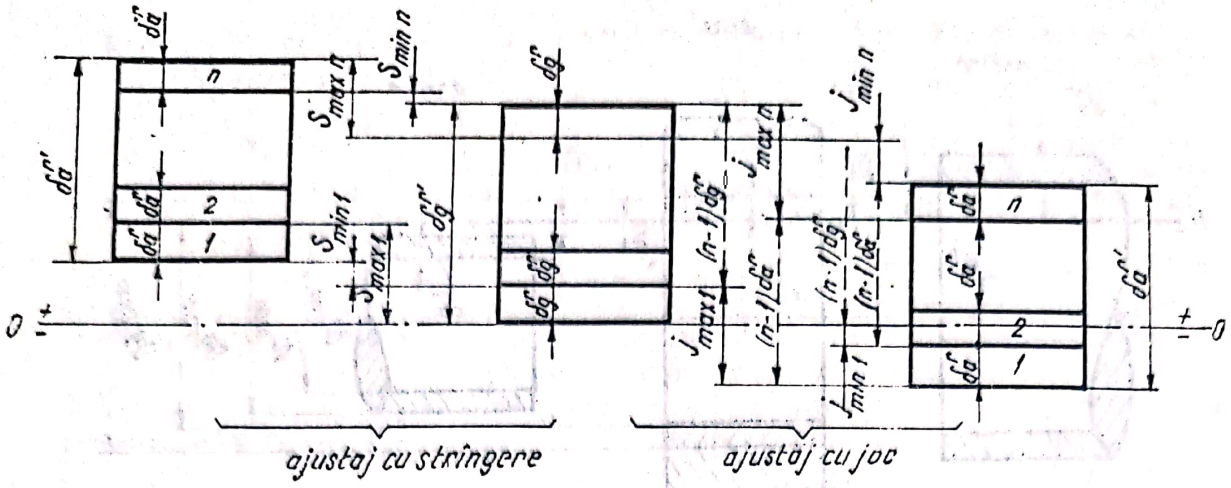


Fig. 5.2.8. Reprezentarea schematică a ajustajului cu joc și strîngere, în cazul în care $\delta_a = \delta_g$.

De asemenea

$$j_{min\ n} = j_{min_1} + (n-1)\delta_g^r - (n-1)\delta_a^r = j_{min_1}. \quad (5.2.26)$$

Înlocuind valorile jocurilor maxim și minim ale pieselor din grupele n, din relațiile precedente în relația (5.2.24) se obține:

$$j_{med\ n} = \frac{j_{max_1} + j_{min_1}}{2} = j_{med_1}. \quad (5.2.27)$$

Procedînd la fel și pentru determinarea strîngerii medii a pieselor din grupele n, se obține:

$$S_{med\ n} = \frac{S_{max_1} + S_{min_1}}{2} = S_{med_1}. \quad (5.2.28)$$

2 — Toleranța arborelui este mai mică decît a alezajului.

În acest caz, după cum se vede din figura 5.2.9, calitatea ajustajului pieselor asamblate din grupele n se schimbă față de cazul precedent. Astfel, se determină (din figura 5.2.9):

$$j_{max\,n} = j_{max_1} + (n-1)\delta_g^r - (n-1)\delta_a^r = j_{max_1} + (n-1)(\delta_g^r - \delta_a^r); \quad (5.2.29)$$

$$j_{min\,n} = j_{min_1} + (n-1)\delta_g^r - (n-1)\delta_a^r = j_{min_1} + (n-1)(\delta_g^r - \delta_a^r). \quad (5.2.30)$$

Înlocuind în relația (5.2.24) relațiile (5.2.29) și (5.2.30), se obține valoarea jocului mediu în ajustajul obținut prin asamblarea pieselor arbori și bucșe din grupa n:

$$j_{med\,n} = \frac{j_{max_1} + j_{min_1}}{2} + (n-1)(\delta_g^r - \delta_a^r) \quad (5.2.31)$$

sau

$$j_{med\,n} = j_{med_1} + (n-1)(\delta_g^r - \delta_a^r). \quad (5.2.32)$$

Se vede deci că jocul mediu crește cu creșterea numărului de grupe.

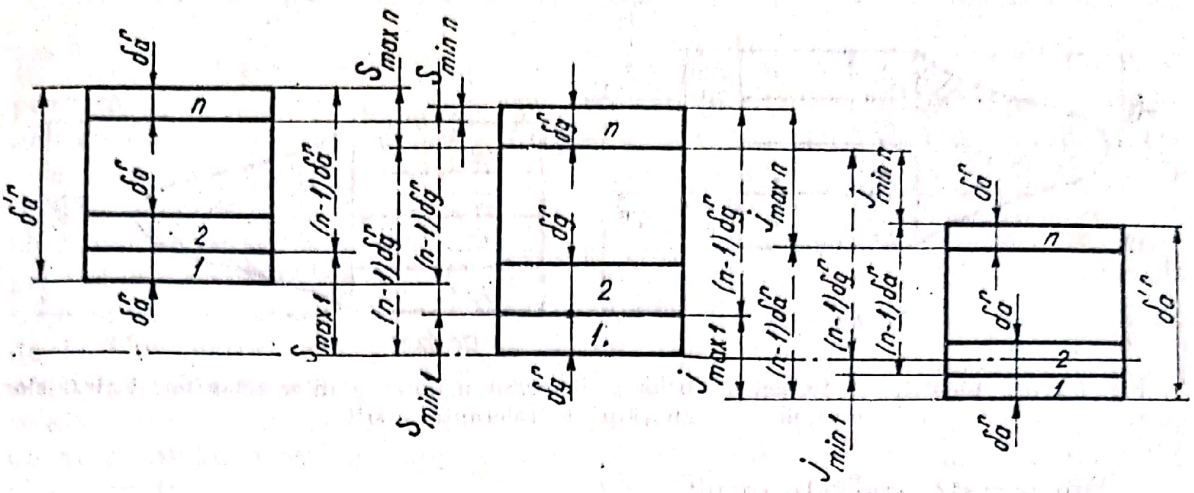


Fig. 5.2.9. Reprezentarea schematică a ajustajului cu joc și strîngere, în cazul în care $\delta_x \leqslant \delta_g$.

Atunci cînd ajustajul este cu strîngere și calculul se face ca și pentru ajustajul cu joc, strîngerea medie a pieselor din grupa n se obține:

$$S_{med_n} = \frac{S_{max_1} + S_{min_1}}{2} - (n-1)(\delta_g^r - \delta_a^r) \tag{5.2.33}$$

sau

$$S_{med_n} = S_{med_1} - (n-1)(\delta_g^r - \delta_a^r). \tag{5.2.34}$$

În acest caz strîngerea medie scade cu creșterea grupelor.

3 — Toleranța arborelui este mai mare decît a alezajului.

În acest caz, pentru ajustajul cu joc j_{med_n} rezultă că:

$$j_{med_n} = j_{med_1} - (n-1)(\delta_a^r - \delta_g^r), \tag{5.2.35}$$

iar pentru ajustajul cu strîngere rezultă:

$$S_{med_n} = S_{med_1} + (n-1)(\delta_a^r - \delta_g^r) \tag{5.2.36}$$

Analizînd relațiile (5.2.35) și (5.2.36) în comparație cu precedentele (5.2.32) și (5.2.34) se observă că în acest caz (cînd $\delta_a > \delta_g$) jocul mediu scade, iar strîngerea crește cu creșterea numărului de grupe. În această situație jocul mediu nu numai că scade, dar după ce la un moment dat acesta a devenit egal cu zero (a dispărut), se transformă în strîngere.

Pentru a se asigura ca după asamblare toate ajustajele să aibă același joc mediu, adică pentru ca

$$j_{med_1} = j_{med_2} = \ldots = j_{med_n}, \tag{5.2.37}$$

va trebui ca toleranțele δ_a și δ_g să fie egale. Acest lucru rezultă de la sine dacă în relația (5.2.37) se introduce relația jocului mediu al grupei 1, adică:

$$j_{med_1} = \frac{j_{max_1} + j_{min_1}}{2} \text{ și al grupei } n \text{ (5.2.32).}$$

$$\text{Deci } j_{med_n} = \frac{j_{max_1} + j_{min_1}}{2} + (n-1)(\delta_g^r - \delta_a^r).$$

Scanned with OKEN Scanner

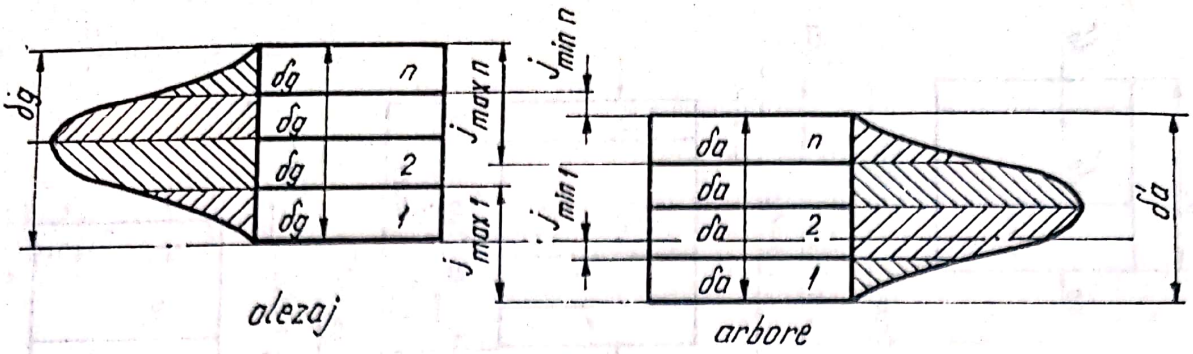


Fig. 5.2.10. Identitatea formei curbelor de dispersie a dimensiunilor arborilor și alezajelor în limitele cîmpurilor de toleranță mărite.

Din această egalitate rezultă:

$$(n - 1)(\delta_g^r - \delta_a^r) = 0. \qquad (5.2.38)$$

Dacă $n > 1$, relația (5.2.38) va fi îndeplinită numai dacă $\delta_g^r - \delta_a^r = 0$, adică atunci cînd $\delta_g^r = \delta_a^r$.

La aceeași concluzie se ajunge și în cazul ajustajelor cu strîngere.

Deci, din punct de vedere al omogenității ajustajelor în urma asamblării rezultatelor cele mai bune se obțin atunci cînd $\delta_a = \delta_g$.

Una din condițiile cele mai importante care asigură succesul acestei metode este *identitatea* curbelor de dispersie a dimensiunilor în limitele cîmpului de toleranță mărit (δ_a' și δ_g'). Atunci cînd se respectă această condiție, în fiecare grupă (din cele n grupe, de exemplu de arbori și bucșe) va fi același număr de piese, adică toate piesele vor avea pereche pentru asamblare (fig. 5.2.10), deoarece suprafața de sub curbă în limitele toleranțelor δ_a' și δ_g' reprezintă tocmai numărul de piese din fiecare grupă care au dimensiunile în limitele cîmpurilor de toleranță respective.

Atunci cînd nu se respectă această condiție, după cum se vede în figura 5.2.11, o parte din piese rămîn fără pereche.

În afară de condiția expusă mai sus, eficacitatea aplicării metodei interschimbabilității de grup poate fi asigurată prin îndeplinirea și a următoarelor condiții:

1 — egalitatea toleranțelor la dimensiunile pieselor care se asamblează;

2 — alegerea toleranțelor economice de fabricație δ_a' și δ_g' cît mai mici;

3 — organizarea judicioasă a sortării în grupe a pieselor și grija ca grupele să nu se amestece.

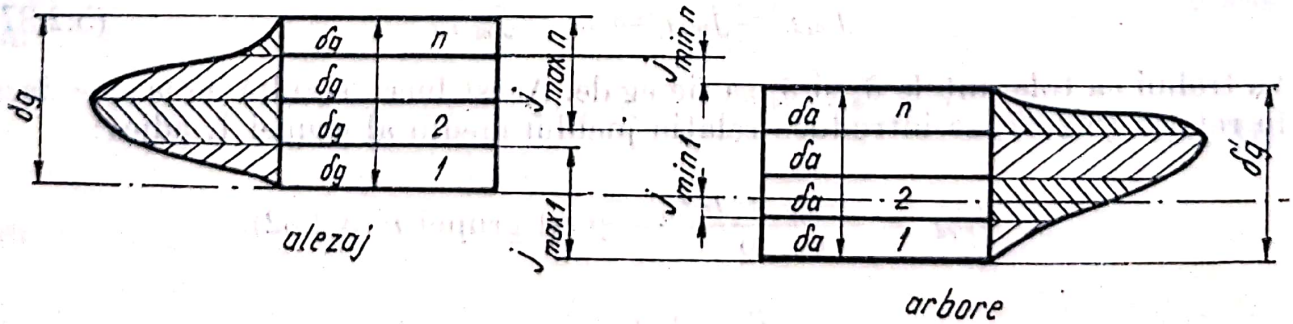


Fig. 5.2.11. Neidentitatea formei curbelor de dispersie a dimensiunilor arborilor și alezajelor în limitele cîmpurilor de toleranță mărite.

Scanned with OKEN Scanner

5.2.3.1. **Principiile de bază ale tehnologiei de grup.** Şi astăzi încă mai persistă convingerea în rîndul multora că industria modernă constructoare de maşini este aceea care are la bază producţia de serie mare şi de masă. De aceea, sînt surprinşi, aflînd că în S.U.A. 75% din industria constructoare de maşini reprezintă producţia de serie mică, pentru a putea cu uşurinţă, fără cheltuieli mari şi într-un timp cît mai scurt, să treacă de la fabricaţia unui produs la a altuia, îmbunătăţit, perfecţionat. (Afirmaţia a fost făcută la cursul scurt de tehnologie de grup, organizat de Institutul de ştiinţă şi tehnologie de la Universitatea din Manchester, în 10—11 aprilie 1973). Procedînd în acest mod firmele respective produc o varietate mare de produse în cantităţi relativ mici şi pot apărea pe piaţă la intervale de timp scurte cu produse noi, deoarece astăzi este mult mai greu să te menţii pe o piaţă cucerită, decît să o cucereşti.

Datorită faptului, că în producţia de unicate şi de serie mică se execută o varietate mare de produse însă în cantităţi relativ mici, procesul de producţie nu poate fi organizat pe aceleaşi principii ca în producţia de serie mare şi de masă, nu pot fi utilizate maşinile-unelte de înaltă productivitate cu un grad ridicat de concentrare al operaţiilor. S-a arătat în paragraful 5.1 că asupra timpului de lucru pe bucată are o influenţă mare timpul auxiliar şi în special timpul de reglare a maşinii, precum şi timpul de pregătire-încheiere. Ponderea acestor timpi neproductivi asupra timpului de lucru pe bucată este cu atît mai mare cu cît numărul de bucăţi de piese care se prelucrează pe maşina reglată în acest scop este mai mic. În producţia de serie mare şi de masă pentru a se reduce la minimum posibil timpul auxiliar consumat cu trecerea pieselor de la un loc de muncă la altul, acestea din urmă au fost dispuse în ordinea succesiunii operaţiilor şi legate între ele prin diverse sisteme de transport ale pieselor. În producţia de unicate şi serie mică, numărul de bucăţi de piese fiind mic, maşina-unealtă trebuie reglată de foarte multe ori în decursul unui schimb, iar piesele parcurg distanţe mari de la o maşină la alta, acestea fiind dispuse pe tipuri de maşini.

Tot datorită numărului mic de piese de acelaşi fel, atunci cînd prelucrarea lor trebuie să se facă la unele operaţii în dispozitive speciale, costul dispozitivelor influenţează într-o măsură foarte mare asupra costului unei piese. Acelaşi lucru se întîmplă cînd prelucrarea pieselor respective necesită scule speciale.

Au fost arătate numai cîteva din dezavantajele mari ale producţiei de unicate şi de serie mică faţă de producţia de serie mare şi de masă, dezavantaje provocate de numărul mic de piese de acelaşi fel, prelucrate individual pe maşini-unelte universale după metode de prelucrare clasice, neproductive.

Datorită acestei situaţii, precum şi faptului că foarte multe din piesele unicate care se prelucrează individual pe aceleaşi maşini au dimensiuni apropiate, forme geometrice asemănătoare, sînt confecţionate din acelaşi material şi se prelucrează după procese tehnologice comune, a apărut ideea de a se forma din aceste piese *grupe de piese* care să fie prelucrate după principiile producţiei de serie mare şi de masă (pe linii tehnologice sau pe maşini-unelte de înaltă productivitate). De aici a apărut şi denumirea de *tehnologie de grup*.

Eficienţa tehnico-economică a tehnologiei de grup este cu atît mai mare cu cît numărul de piese din grupele de piese este mai mare şi cu cît piesele din grupele de piese sînt mai apropiate dimensional, cu cît forma lor geometrică este mai apropiată, cu cît sînt mai puţin diferite materialele din care

Scanned with OKEN Scanner

sînt confecționate și cu cît procesul tehnologic de prelucrare (individuală) are mai multe părți comune.

Problema primordială de care depinde aplicarea tehnologiei de grup este aceea de *constituire a grupelor* de piese.

Inițial constituirea grupelor s-a făcut în atelier de către maistru sau tehnolog pe bază de observații sau intuiție.

Cu creșterea numărul de piese și cu lărgirea diversității pieselor constituirea după intuiție a grupelor a devenit deosebit de grea, ba chiar imposibilă, impunîndu-se astfel necesitatea găsirii unei metode științifice, eficiente.

Astfel a apărut metoda clasificării pieselor pe bază de *coduri*.

În afară de constituirea grupelor de piese, aplicarea cu succes a tehnologiei de grup mai impune efectuarea unei serii de lucrări de importanță primordială, interdependente, de care depinde succesul aplicării tehnologiei de grup. Aceste lucrări trebuie să se execute în următoarea succesiune, incluzînd și primele două amintite:

— clasificarea pieselor pe baza unui clasificator;

— alcătuirea grupelor de piese;

— proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare;

— proiectarea S.D.V.-urilor;

— modernizarea utilajelor sau proiectarea de utilaje speciale;

— organizarea de linii tehnologice în flux pentru prelucrarea pieselor din grupa de piese;

— calculul normei tehnice de timp;

— planificarea întregului proces de producție;

— reorganizarea întregii activități a întreprinderii;

— instruirea personalului, începînd de la personalul de conducere a întreprinderii pînă la muncitorul de la mașină. Dealtfel, cu această etapă ar trebui să se înceapă activitatea complexă de organizare a producției pe baza tehnologiei de grup și în special cu instruirea cadrelor de conducere a întreprinderilor.

În continuare se prezintă, cu amănuntele strict necesare din etapele enumerate, numai acele etape care intră în cadrul acestui curs.

5.2.3.1.1. **Clasificarea pieselor.** Toate sistemele de clasificare urmăresc în general:

— acordarea unui cod, format dintr-un număr de cifre, fiecărei piese din programul de piese al întreprinderii;

— identificarea, pe baza codului, a pieselor cu forme geometrice, dimensiuni, procedee și metode tehnologice de prelucrare identice (strunjire exterioară, strunjire interioară, burghiere, filetare, frezare etc.).

Orice sistem de clasificare trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

— să permită o identificare rapidă a pieselor similare din punct de vedere a formei geometrice, dimensiunii și grupei de material;

— să fie un indiciu al procesului tehnologic de prelucrare;

Scanned with OKEN Scanner

— să permită constituirea grupelor de piese similare după criteriile dorite de întreprindere;

— să uşureze efectuarea normării de grup:

— să permită organizarea de linii tehnologice pentru prelucrarea pieselor din grupa de piese sau chiar din grupe înrudite;

— să permită utilizarea S.D.V.-urilor de grup;

— codul să nu aibă un număr prea mare de cifre pentru a putea fi cît mai uşor însuşit şi chiar reţinut de către tehnologi;

— să asigure o diferenţiere cît mai bună a pieselor;

— să aibă un caracter general, pentru a putea fi utilizat nu numai în întreprinderea pentru care a fost conceput iniţial.

Dintre sistemele de clasificare cele mai cunoscute pe plan mondial sînt următoarele: OPITZ în R.F.G.,; VPTIT, LITMO, PTNII în U.R.S.S.; BRISCH-GOMBINSKI în Anglia; VUSTE în Cehoslovacia; ZIF în R.D.G.; ZAFO-ZAOME în Franţa.

După o analiză amănunţită a sistemelor enumerate mai sus făcută în lucrarea [22], în urma căreia s-au găsit unele deficienţe ale lor, s-a impus necesitatea elaborării unui sistem de clasificare în care sînt înglobate principiile de bază ale sistemelor respective şi eliminate deficienţele sesizate, sistem denumit convenţional „Sistem de clasificare U.H.Bv". Sistemul a fost elaborat cu intenţia de a se încerca aplicarea tehnologiei de grup în producţie. Sistemul U.H.Bv este fondat pe sistemul de clasificare elaborat de prof. dr. ing. *H. Opitz* şi fiind conceput special pentru necesităţile concrete ale uzinei Hidromecanica Braşov, nu mai are rubrici libere cu menţiunea „la dispoziţia întreprinderii".

Sistemul de clasificare U.H.Bv este un clasificator cu caracter constructiv-tehnologic, bazat pe sistemul zecimal, format din zece coloane, ceea ce îi conferă posibilitatea unei suficient de bune identificări a pieselor din punct de vedere a formei şi a prelucrărilor, posedînd în acelaşi timp şi calităţi de manevrare uşoară datorită modului de scriere.

Clasificatorul împarte piesele în zece clase de formă, din care cinci aparţin pieselor de revoluţie, o clasă aparţine pieselor de revoluţie cu axe curbe sau cu axe multiple, o clasă aparţine pieselor cu pereţi subţiri, două clase aparţin pieselor de formă complexă (carcase, batiuri, diferite piese speciale etc.).

Codul este compus, la fel ca sistemele de clasificare prezentate, din două părţi distincte. Primele opt coloane de cifre reprezintă codul de bază, iar următoarele două cifre reprezintă codul suplimentar.

Codul de bază descrie piesa din punct de vedere al formei geometrice, al mărimii şi al procesului tehnologic principal, ţinînd cont în acelaşi timp şi de precizia maximă cu care trebuie realizată piesa, iar la codul suplimentar se prevede materialul cu tratamentul termic corespunzător, precum şi natura semifabricatului. Acest clasificator este destinat să servească atît în domeniul pregătirii fabricaţiei (în proiectări şi în serviciile tehnologice), cît şi în programarea şi realizarea fabricaţiei.

Schema structurală a acestui sistem de clasificare este prezentată în figura 5.2.12.

Scanned with OKEN Scanner

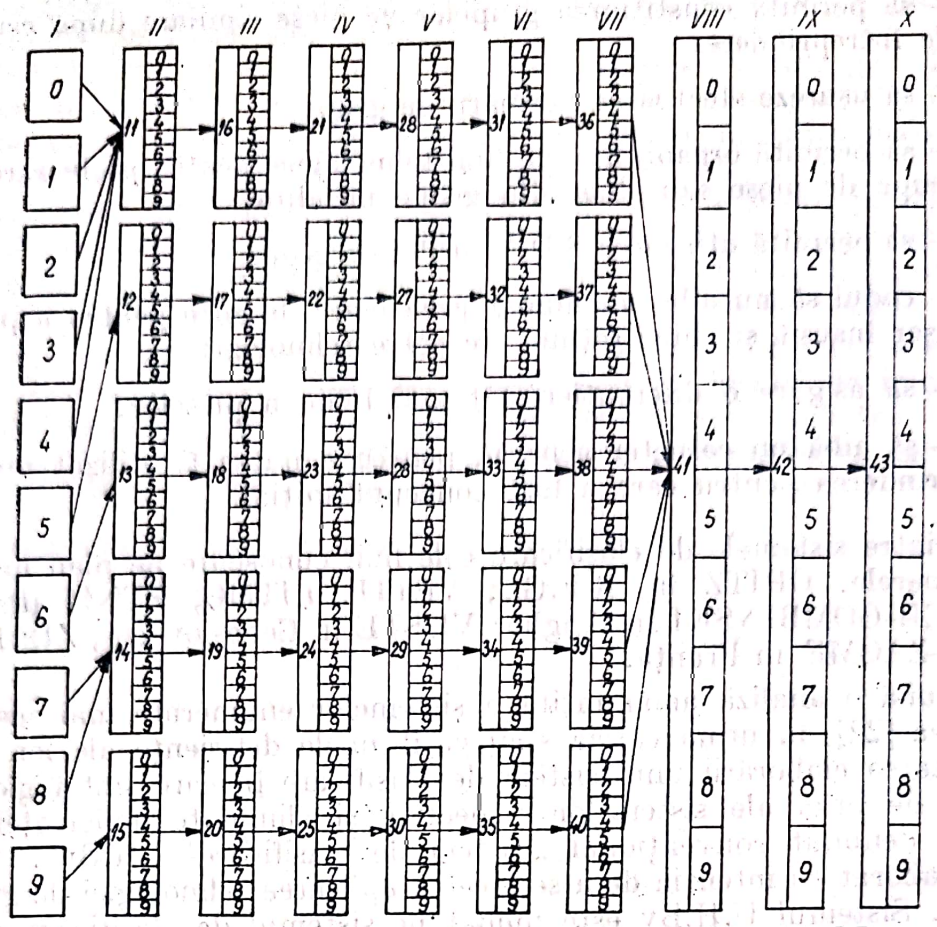


Fig. 5.2.12. Schema structurală a sistemului de clasificare U.H.Bv.

Semnificațiile celor 43 de rubrici ale clasificatorului sînt redate mai jos:

0 — Piese de revoluție cu raportul între lungime și diametru $L/D = 0{,}5$;
1 — Piese de revoluție cu L/D cuprins între 0,5 ... 3;
2 — Piese de revoluție cu $L/D \geqslant 3$;
3 — Piese de revoluție cu porțiuni de alte forme cu $L/D \leqslant 2$;
4 — Piese de revoluție cu porțiuni de alte forme cu $L/D \geqslant 2$;
5 — Piese de revoluție cu axe curbe sau mai multe axe;
6 — Piese cu pereți subțiri;
7 — Piese care nu sînt de revoluție cu $L \leqslant 700$;
8 — Piese care nu sînt de revoluție cu $L \geqslant 700$;
9 — Piese de formă complexă.

Coloana II

11 — Reprezintă dimensiunea D a pieselor din clasele de formă 0 ... 4;
12 — Dimensiunea D a pieselor din clasa 5;
13 — Lungimea L sau diametrul D al pieselor din clasa 6;
14 — Dimensiunile B și H ale pieselor din clasele 7 și 8;
15 — Lungimea L a pieselor din clasa 9.

Coloana III

16 — Forma geometrică exterioară;
17 — Felul și orientarea axului;
18 — Grosimea pereților;
19 — Forma geometrică exterioară;
20 — Lățimea B.

Scanned with OKEN Scanner

Coloana IV

21 — Forma geometrică interioară;
22 — Forma geometrică exterioară;
23 — Înălțimea H;
24 — Detalii la formele geometrice exterioare;
25 — Înălțimea H.

Coloana V

26 — Detalii suplimentare ale pieselor de revoluție (filete, găuri);
27 — Forma geometrică interioară;
28 — Forma geometrică a pieselor cu pereți subțiri;
29 — Forma geometrică interioară;
30 — Forma geometrică exterioară.

Coloana VI

31 — Detalii suplimentare ale pieselor de revoluție (suprafețe plane, canale și combinații ale acestora);
32 — Detalii suplimentare (suprafețe plane, canale și combinații ale acestora);
33 — Curbura piesei;
34 — Modul de dispunere al găurilor;
35 — Forma geometrică interioară.

Coloana VII

36 — Detalii suplimentare ale pieselor de revoluție (danturi și caneluri);
37 — Detalii suplimentare ale pieselor cu axe curbe (filete, găuri);
38 — Detalii suplimentare ale pieselor cu pereți subțiri (suprafețe de revoluție, plane etc.);
39 — Suprafețe de revoluție exterioare și interioare;
40 — Modul de dispunere al găurilor.

Coloana VIII

41 — Comună tuturor claselor de formă și reprezintă gradul de precizie precum și starea suprafeței pieselor.

Cadrul suplimentar

Coloana IX

42 — Comună tuturor claselor de formă și reprezintă felul materialului precum și tratamentul termic aplicat.

Coloana X

43 — Comună tuturor claselor de formă și indică natura semifabricatului ce urmează a fi prelucrat.

Clasificatorul este prezentat în cele cinci planșe de la sfîrșitul cărții.

5.2.3.1.2. **Constituirea grupelor de piese.** A doua etapă de importanță primordială în acțiunea de aplicare a tehnologiei de grup este aceea de constituire a grupelor de piese.

După cum s-a mai arătat, scopul constituirii de grupe de piese este acela de a crea serii (loturi) de piese formate dintr-un număr cît mai mare de piese, pentru ca la prelucrarea lor să fie posibilă și economică utilizarea mașinilor de înaltă productivitate și organizarea de linii tehnologice în flux continuu

Scanned with OKEN Scanner

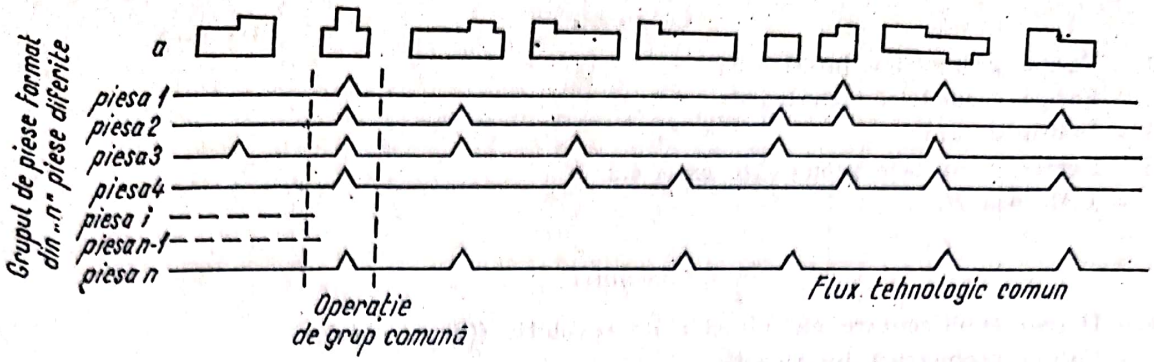


Fig. 5.2.13. Reprezentarea schematică a unei linii tehnologice (*a*) și a fluxurilor tehnologice a celor *n* piese care constituie grupa de piese.

cu un grad cît mai mare de mecanizare și automatizare, pentru a se ridica astfel nivelul productivității și a se reduce costul la nivelul acelora din producția de serie mare și de masă.

În constituirea grupelor se studiază dacă există posibilitatea ca grupa de piese să se poată în principiu prelucra după același proces tehnologic, pe aceleași mașini, cu același echipament tehnologic și cu aceeași reglare de bază a mașinilor respective.

Grupele de piese pot fi constituite în așa fel încît:

— să aibă o singură operație comună a procesului tehnologic;

— să aibă mai multe operații comune;

— să aibă toate operațiile procesului tehnologic comune.

În primul caz, piesele din grupa de piese constituită se prelucrează pe o singură mașină-unealtă sau la un singur loc de muncă. Celelalte prelucrări fiind cu totul diferite se prelucrează pe mașini diferite.

În al doilea caz, piesele din grupa de piese se pot prelucra pe o linie tehnologică în flux continuu, fără însă ca fiecare piesă să se prelucreze pe fiecare din mașinile din linie.

În al treilea caz, toate piesele din grupul de piese se prelucrează la fiecare din mașinile din linie, necesitînd doar reglaje simple fie a poziției sculelor, fie înlocuirea unei scule cu altă sculă.

Schematic această situație poate fi reprezentată ca în figura 5.2.13.

Ordinea în care trebuie să fie lansate în fabricație pe linia tehnologică piesele din grupa de piese este deosebit de importantă deoarece ea poate să lungească sau să scurteze ciclul de fabricație. Această problemă se tratează în amănunt în [23].

5.2.3.1.3. **Proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare de grup.** După ce au fost constituite grupele de piese după una din metodele prezentate, urmează proiectarea procesului tehnologic de grup. Principiile de bază de proiectare a procesului tehnologic de grup sînt aceleași ca pentru proiectarea procesului tehnologic optim tipizat pentru piesa reprezentativă a clasei sau grupei de piese.

În plus, procesul tehnologic trebuie să fie astfel proiectat încît să asigure prelucrarea fiecărei piese din grupa de piese fără o abatere esențială de la procesul tehnologic de bază. Astfel:

— atunci cînd conține mai multe operații, succesiunea lor să fie aceeași pentru ca prelucrarea fiecărei piese din grupa de piese să se facă pe o linie

Scanned with OKEN Scanner

tehnologică în flux continuu, iar atunci cînd procesul tehnologic de grup este format dintr-o singură operaţie comună, succesiunea fazelor la fiecare piesă din grupa de piese să fie aceeaşi;

— echipamentul tehnologic trebuie să fie de grup sau universal, conceput în aşa fel încît să fie util pentru fiecare piesă din grupa de piese;

— utilajul din linia tehnologică trebuie să asigure productivitatea maximă cu cheltuieli minime de reglaj pentru trecerea de la prelucrarea unei subgrupe de piese la prelucrarea alteia din grupa de piese respectivă;

— documentaţia tehnologică folosită trebuie să fie cît mai simplă ca formă şi mai completă ca conţinut şi să fie uşor de completat şi utilizat la locul de muncă.

Paralel cu proiectarea celui mai raţional proces tehnologic de prelucrare a grupei de piese trebuie să se rezolve şi o serie de probleme cu caracter tehnico-organizatoric şi anume: unificarea semifabricatelor; reglementarea transportului pieselor în atelier şi între secţii; studierea posibilităţilor de specializare a anumitor ateliere sau locuri de muncă în unele procedee sau metode de prelucrare; stabilirea căilor de modernizare a utilajelor şi a posibilităţilor de proiectare şi executare de maşini-unelte specializate şi agregate speciale; organizarea în cele mai bune condiţii a locurilor de muncă.

5.2.3.1.4. **Organizarea de linii tehnologice în flux continuu.** În producţia de unicate şi de serie mică, ca şi în producţia de serie mare şi masă, organizarea de linii tehnologice în flux continuu a devenit posibilă datorită faptului că, prin aplicarea principiilor tehnologice de grup, s-au putut constitui grupe de piese care pot fi prelucrate pe utilajele din linia tehnologică după un reglaj de bază, în mod similar prelucrării loturilor de piese constituite din piese de acelaşi fel în producţia de serie mare şi de masă pe linii tehnologice în flux.

Organizarea producţiei pe linii tehnologice reduce circuitul în gol al pieselor, plimbările lungi, întortocheate de la o maşină la alta dispuse în atelier în grupe (pe tipuri de maşini) şi asigură o încărcare cît mai bună fiecărei maşini-unelte din linie.

Maşinile-unelte pot fi dispuse în linie sau în linii paralele, constituind fluxuri continue şi variabile.

Acest mod de constituire a liniilor tehnologice asigură o bună încărcare a maşinilor-unelte din întreaga linie tehnologică. De asemenea, se poate observa în figură atît prelucrarea pieselor simple cît şi a pieselor complexe în cazul organizării producţiei pe bază de tehnologie de grup.

Din studiile făcute rezultă că pînă la 60% din numărul total de piese care necesită prelucrări prin strunjire se pot executa pe baza principiilor tehnologiei de grup, pe linii tehnologice în flux continuu de felul celei din figura 5.2.14.

5.2.3.1.5. **Reglarea maşinii-unelte pentru executarea unei operaţii de grup.** Pentru a fi posibilă efectuarea unei reglări cît mai simple şi rapide a maşinii la trecerea de la prelucrarea unei subgrupe de piese la a alteia din grupa de piese este necesar ca reglarea iniţială a maşinii-unelte să se facă după piesa care are forma geometrică cea mai complicată, adică piesa care conţine toate suprafeţele elementare ale pieselor din grupa respectivă care se prelucrează. Această piesă se numeşte *piesă reprezentativă*.

Scanned with OKEN Scanner

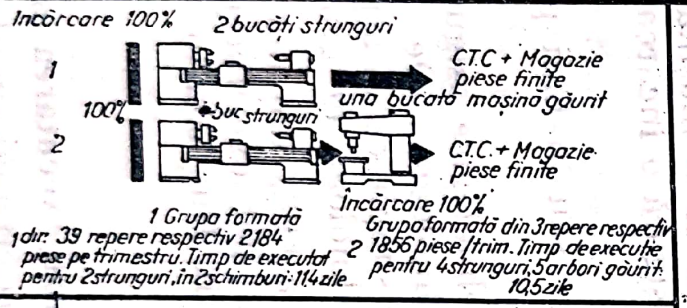
SISTEME DE ORGANIZARE A FABRICAȚIEI DUPĂ TEHNOLOGIA DE GRUP

A PRELUCRAREA PIESELOR CU MONO ȘI BI OPERAȚII

SERIE MARE – Forme identice

Strunguri universale înalt mecanizate
Strunguri revolver
Strunguri automate
Alte tipuri de mașini unelte mecanizate sau automatizate

PE LOTURI IN FLUX CONTINUU CU TRASEE RECTILINII



B PRELUCRAREA PIESELOR CU MULTIOPERAȚII

SERIE MARE, – Forme și dimensiuni diferite

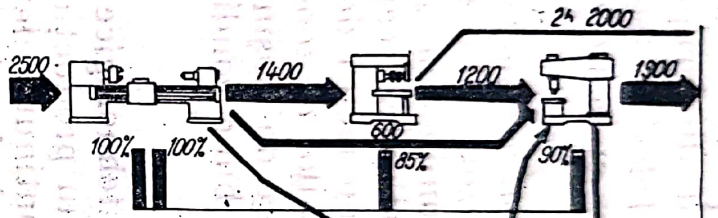
Strunguri universale
Mașini de frezat universale
Mașini de găurit
Mașini de mortezat
Mașini de rectificat

PE LINII TEHNOLOGICE IN FLUX CONTINUU CU TRASEE RECTILINII ȘI FLEXIBILE

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
0	–	0	0	0	0	0	–
–	–	1	1	1	1	–	1
–	2	2	2	–	–	–	2
–	–	3	3	–	–	–	3
–	–	–	–	4	–	–	4
–	–	–	–	5	5	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	8	8	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–

LINIA TEHNOLOGICĂ PENTRU GRUPA „X"

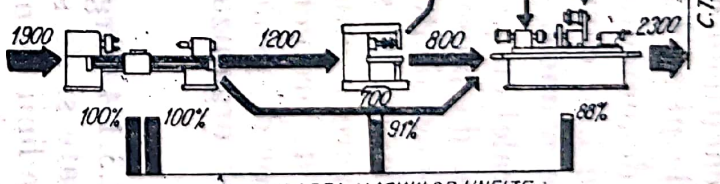
Grupa „X" formată din 80 repere, respectiv din 2500 piese / trim.



LINIA TEHNOLOGICĂ PENTRU GRUPA „Y"

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
–	–	0	0	0	0	0	–
1	–	1	1	1	1	–	–
–	2	2	2	–	–	–	–
–	–	3	3	–	–	–	3
–	–	–	–	4	–	–	4
–	–	–	–	–	5	–	5
–	–	–	–	–	–	–	6
–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	8	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–

Grupa „Y" formată din 65 repere, respectiv din 1900 piese / trim.



C.T.C. – Magazia piese finite

ÎNCĂRCAREA MAȘINILOR UNELTE

C PRELUCRAREA PIESELOR CU MULTIOPERAȚII PE MAȘINI SPECIALIZATE

SERII MARI SAU PIESE INDIVIDUALE LA ANUMITE MAȘINI
Forme și dimensiuni diferite

Freze de danturat
Mașini de rectificat speciale
Mașini de frezat prin copiere
Mașini de mortezat danturi
Mașini de rodat

INDIVIDUAL SAU IN GRUP PROVENITE DIN PRELUCRARI INDIVIDUALE SAU IN GRUP

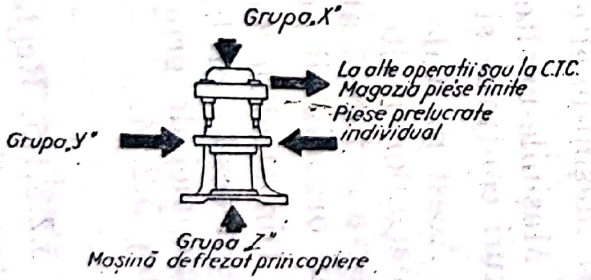


Fig. 5.2.14. Sisteme de organizare a fabricației după tehnologia de grup.

Reglarea la dimensiune a mașinii-unelte se face inițial după piesa reprezentativă. După ce a fost prelucrată piesa reprezentativă sau toate piesele din grupă identice cu piesa reprezentativă, urmează să se prelucreze piesa sau piesele din grupă care au un număr de suprafețe de prelucrat imediat inferior celui al piesei reprezentative și așa mai departe, pînă se prelucrează toate piesele din grupa de piese. De fiecare dată este necesară o reglare la dimensiune foarte simplă față de reglarea inițială, fie prin deplasarea corespunzătoare a opritorilor limitatori de curse, fie prin înlocuirea sculelor.

Piesa reprezentativă poate fi reală sau imaginată de tehnolog, pentru a putea realiza reglarea mașinii-unelte.

Principiul acestei metode de prelucrare pe grup se înțelege foarte ușor prin prezentarea următorului exemplu concret, reprezentat în figura 5.2.15.

Reglarea strungului revolver pe care se face prelucrarea grupei de piese se face după piesa reprezentativă (poz. *A*), care are 8 suprafețe elementare de prelucrat. După cum se vede, aceste suprafețe sînt:

1 — suprafață exterioară cilindrică;
2 — suprafață exterioară conică;
3 — canalul exterior;
4 — suprafață cilindrică exterioară cu filet;
5 — suprafață interioară cilindrică înfundată;
6 — suprafață interioară cilindrică străpunsă;
7 — canalul interior de scăpare;
8 — suprafață interioară cilindrică străpunsă cu filet.

În pozițiile *B*, *C*, ... *L* sînt reprezentate piesele din grupă care au o parte din aceleași suprafețe elementare ca piesa reprezentativă, care urmează să fie prelucrate cu aceleași scule cu care s-au prelucrat suprafețele corespunzătoare ale pieselor reprezentative.

În figura 5.2.15 este prezentat cazul în care piesa reprezentativă după care se face reglarea este o piesă reală. În figura 5.2.16 este prezentat însă cazul în care piesa reprezentativă este imaginată de tehnolog, folosindu-se de toate piesele din grupa de piese care urmează a se prelucra pe un strung

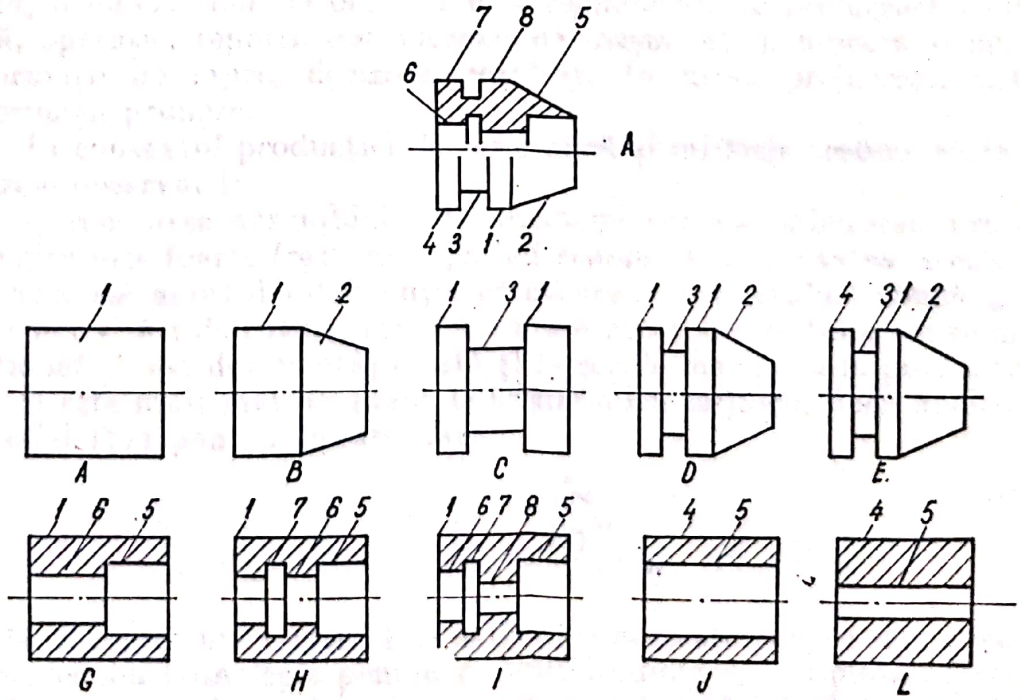


Fig. 5.2.15. Tipuri de piese din componența unei grupe (*B* — *L*); *A* — piesa reprezentativă.

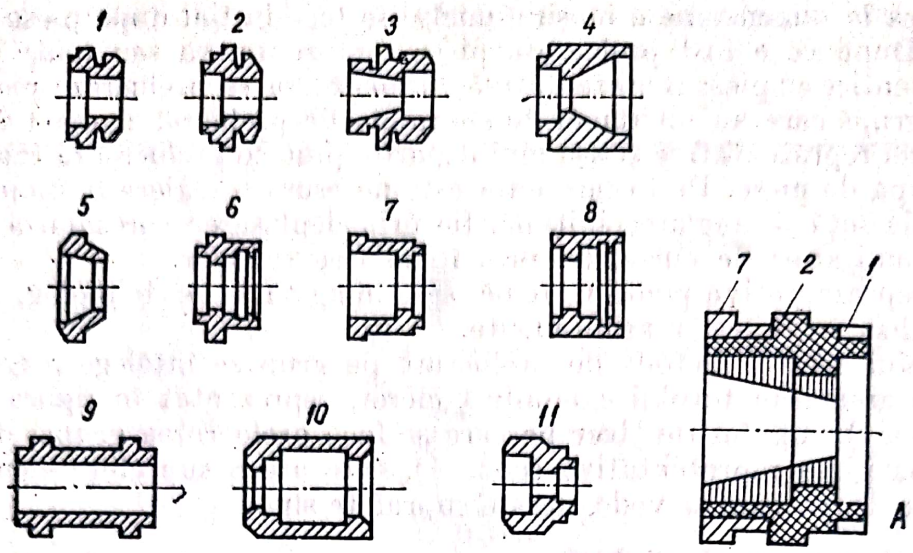


Fig. 5.2.16. Tipuri de piese din componența unei grupe de piese (1—11); *A* — piesă reprezentativă imaginată de tehnolog.

revolver sau automat, după metoda de prelucrare în grup. Piesele din grupa de piese, după cum se vede, sînt formate din combinații de suprafețe exterioare și interioare de revoluție și suprafețe cu filet.

Piesa reprezentativă imaginată se realizează în modul următor:

— se alege din grupa de piese piesa cea mai caracteristică, care, în cazul exemplului din figura 5.2.16, este piesa 7. Peste desenul acestei piese se desenează piesa 2, apoi 1 și așa mai departe, obținîndu-se pînă la urmă desenul piesei reprezentative imaginate (poz. *A*), după care se face reglarea la dimensiune a mașinii, prevăzînd pentru prelucrarea fiecărei suprafețe sculele corespunzătoare.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 6

PROIECTAREA AUTOMATĂ A PROCESELOR TEHNOLOGICE

Dinamica întreprinderii moderne prin mărirea dimensiunilor și prin dezvoltarea ei complexă a dus la fragmentarea funcțională a acesteia în compartimente aparent autonome, conduse cu scopuri de multe ori neconvergente, ca și la o deosebită complicare a sistemului informațional, atît în interiorul serviciilor, cît și între acestea; conducerea întreprinderii impune, în limita metodelor „clasice" de elaborare a deciziilor, „filtrarea" fluxului informațional la diferite nivele „pe verticală" (această filtrare introducînd de multe ori anumite interpretări sau deformări).

În cele ce urmează, prezentăm o analiză relativ succintă a subsistemului informațional al serviciului tehnologic, analizînd activitățile specifice proiectării tehnologiei, în special pentru seriile mici și mijlocii.

În cadrul acestui serviciu distingem informații de intrare (desenele noilor repere pentru care urmează a se proiecta tehnologia, existentul de mașini-unelte din fiecare secție cu caracteristicile lor etc.), sisteme de algoritmi de calcul (a numărului de operații și faze, a gradului de concentrare a operațiilor, a adaosurilor de prelucrare, a regimurilor de prelucrare pentru fiecare fază, operație, repartizarea pieselor pe mașini etc.), precum și ansamblul de informații de ieșire, deciziile, rezultate în urma prelucrării sistemului de informații primare.

În contextul producției de serie mică și mijlocie trebuie să facem următoarele observații:

— repetarea ansamblului de algoritmi pentru elaborarea proceselor tehnologice este foarte frecventă. Ținînd seama că majoritatea acestor algoritmi nu necesită aportul inteligenței creatoare a inginerului tehnolog, reprezintă doar activități de rutină, rezultă o mare cantitate de timp consumată în mod irațional. Acest dezavantaj există și la seriile mari, sau la producția de masă, dar el este mult mai pregnant la seriile mici, mijlocii, dacă analizăm valorile funcției $f(x)$ pentru fiecare caz:

$$f_{(x)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \tau_i}{x} C_i, \qquad (6.1)$$

unde: n reprezintă numărul de activități necesare pentru elaborarea completă a procesului tehnologic pentru reperul studiat; τ_i — timpul necesitat pentru desfășurarea activității i, componentă a sistemului de algoritmi pentru elabo-

rarea procesului tehnologic; C_i — costurile legate de activitatea i; x — numărul de bucăţi din reperul a cărui tehnologie se elaborează.

Funcţia $f(x)$ reprezintă costurile pe bucată a muncii de proiectare a procesului tehnologic.

La seriile mari, în mod evident, funcţia $f(x)$ este mai mică decît la seriile mici şi mijlocii, deşi între două produse similare va fi mai competitiv acela care înglobează o cantitate de inteligenţă mai mare, direct proporţională cu $f(x)$. Aceasta nu înseamnă că nu trebuie să facem totul pentru reducerea acestei funcţii nu prin reducerea muncii de concepţie, ci prin eliberarea inteligenţei inginereşti de activităţile de rutină care pot fi preluate de calculatorul electronic (aşa cum va fi arătat în continuare) şi prin utilizarea timpului astfel cîştigat în scopul găsirii unor soluţii tehnologice noi, mai ieftine sau care asigură o cantitate mai ridicată a produsului.

6.1. PROGRAM GENERAL CU REZOLVARE ALGORITMICĂ PENTRU PROIECTAREA AUTOMATĂ A PROCESELOR TEHNOLOGICE

Pentru reducerea timpului consumat cu proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare s-a conceput principiul unui program general de proiectare automată a proceselor tehnologice cu ajutorul calculatorului electronic.

Prin aplicarea acestui sistem circa 80% din timpul normal necesitat de elaborarea unui proces tehnologic devine disponibil pentru găsirea unor noi mijloace, metode şi procedee de prelucrare.

Programul general întocmit pentru calculatorul electronic este de fapt un program coordonator pentru alte programe. El nu este un program în sine, ci un program care să realizeze proiectarea automată a proceselor tehnologice de prelucrare prin apelarea altor programe. Programul general este flexibil, el adoptîndu-se uşor pentru orice clasă de piese.

Pentru aceasta fişierele trebuie să conţină cît mai multe elemente şi de asemenea este necesară crearea fişierului de tehnologie optimă tipizată de prelucrare a piesei reprezentative a unei clase sau grupe de piese.

În figura 6.1 este prezentată schema logică bloc a programului general. Din schemă se observă că după citirea unui minim de informaţii în legătură cu reperul al cărui proces tehnologic se proiectează, se trece la executarea primei etape a algoritmului prin apelarea subrutinei de selectare a procesului tehnologic de prelucrare a piesei oarecare din procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative a clasei sau a grupei.

În a doua etapă a algoritmului se apelează subrutina ADAOS cu ajutorul căruia se calculează adaosul de prelucrare şi dimensiunile intermediare pentru fiecare suprafaţă ce se prelucrează în operaţiile determinate în prima etapă.

În a treia etapă a algoritmului se calculează parametrii regimului optim de aşchiere pentru fiecare operaţie şi, prin consultarea gamei de viteze şi avansuri ale maşinii-unelte respective (existente în fişierul de date), se adoptă valorile reale cele mai apropiate de cele calculate ale acestor parametri. După cum se vede din figura 6.1 la prima variantă a procesului tehnologic apelarea subrutinelor REGIM şi NORMA se face pentru fiecare operaţie. La variantele următoare aceste două subrutine sînt apelate numai pentru operaţiile

Scanned with OKEN Scanner

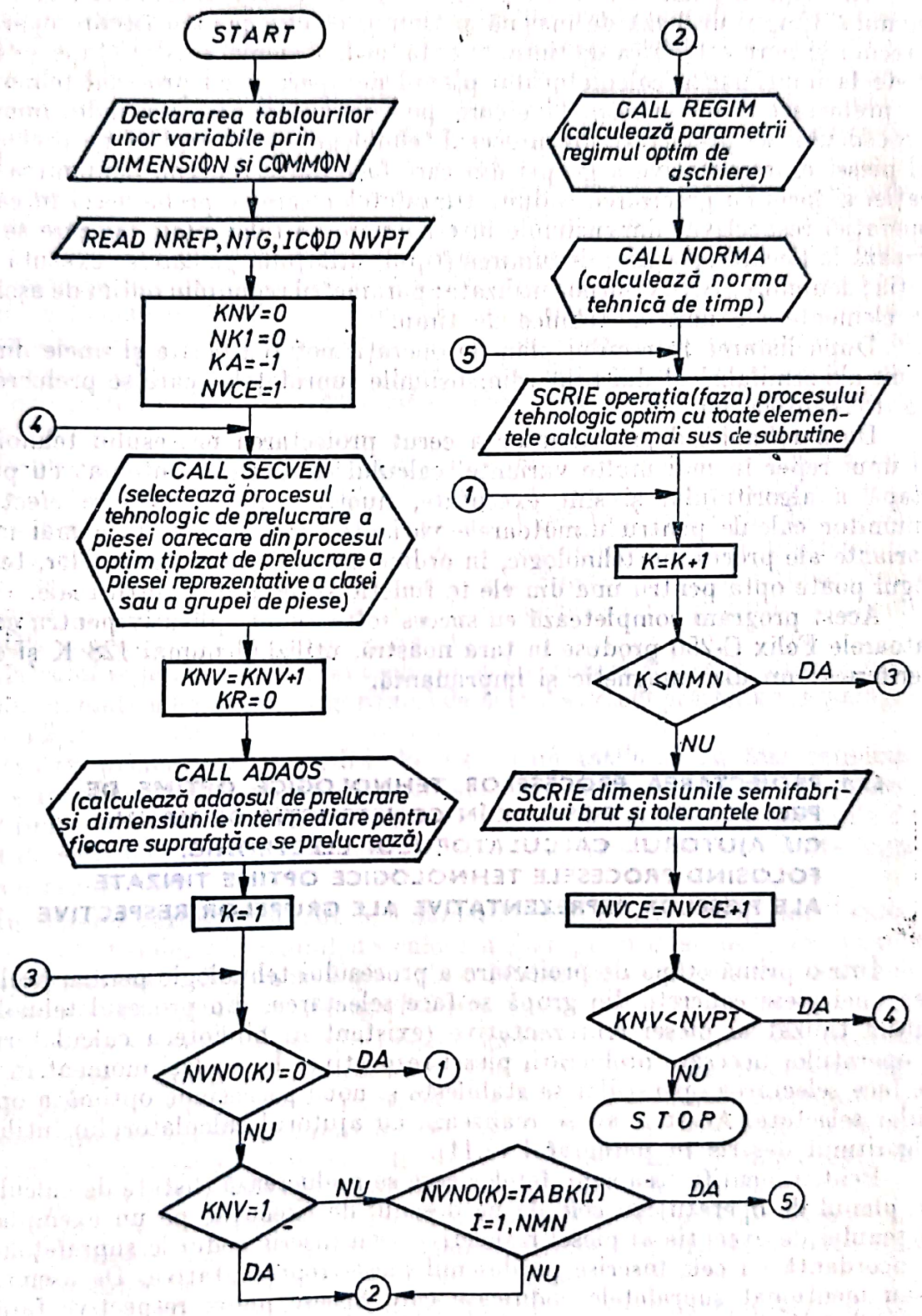


Fig. 6.1. Schema bloc a programului general.

care nu fac parte din prima variantă, fiind reținute în memoria calculatorului sînt tipărite și la următoarele variante. Astfel se micșorează substanțial timpul de rulare la următoarele variante.

În etapa a patra a algoritmului, cu ajutorul subrutinei NORMA se determină timpul de bază de mașină și timpul efectiv pentru fiecare operație, precum și norma tehnică de timp. O dată cu încheierea acestei etape se tipărește la imprimanta calculatorului planul de operații cu procesul tehnologic de prelucrare al piesei respective care, pe diferite coloane, cuprinde: numărul procedeului de prelucrare din procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare al piesei reprezentative a grupei din care face parte reperul, denumirea operației și fazei cu precizarea codului suprafețelor care se prelucrează în cadrul operației respective; dimensiunile intermediare cu toleranțele lor care se realizează la fiecare operație; denumirea (tipul) utilajului pe care se execută operația; denumirea S.D.V.-urilor utilizate; parametrii regimului optim de așchiere și elemente ale normei tehnice de timp.

După listarea întregului plan de operații pot fi tipărite și unele dimensiuni ale semifabricatului brut (dimensiunile suprafețelor care se prelucrează) cu toleranțele lor.

Dacă tehnologul programator a cerut proiectarea procesului tehnologic al unui reper în mai multe variante, calculul este reluat automat cu prima etapă a algoritmului și sînt executate, numai etapele necesare efectuării anumitor calcule pentru următoarele variante. Avînd proiectate mai multe variante ale procesului tehnologic, în ordine crescătoare a costului lor, tehnologul poate opta pentru una din ele în funcție și de alte condiții reale.

Acest program completează cu succes software-ul aplicativ pentru calculatoarele Felix C-256 produse în țara noastră, utilizînd numai 128 K și două periferice: un disc magnetic și imprimantă.

6.1.1. PROIECTAREA PROCESELOR TEHNOLOGICE OPTIME DE PRELUCRARE A PIESELOR ÎN CONSTRUCȚIA DE MAȘINI CU AJUTORUL CALCULATORULUI ELECTRONIC, FOLOSIND PROCESELE TEHNOLOGICE OPTIME TIPIZATE ALE PIESELOR REPREZENTATIVE ALE GRUPELOR RESPECTIVE

Într-o primă etapă de proiectare a procesului tehnologic pentru prelucrarea unei piese concrete din grupă se face selectarea, din procesul tehnologic optim tipizat al piesei reprezentative (existent în biblioteca calculatorului) a operațiilor necesare prelucrării piesei respective. În același moment în care se face selectarea operațiilor se stabilește și noua succesiune optimă a operațiilor selectate. Acest lucru se realizează cu ajutorul calculatorului, utilizînd algoritmul descris în paragraful (3.11).

Pentru identificarea suprafețelor care se prelucrează (listate de calculator în planul de operații) cu cele de pe desenul de execuție, pe un exemplar al desenului de execuție al piesei respective s-au înscris codurile suprafețelor în concordanță cu cele înscrise pe desenul piesei reprezentative. De asemenea, s-au menționat suprafețele codificate care lipsesc piesei respective față de cele ale piesei reprezentative.

Următoarea etapă de proiectare a procesului tehnologic de prelucrare a pieselor este calculul adaosului de prelucrare și al dimensiunilor intermediare pentru fiecare suprafață a piesei cu ajutorul calculatorului electronic utilizînd algoritmul de calcul prezentat în paragraful 4.3.1.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru o piesă oarecare valorile mărimilor care intervin în relaţiile de calcul ale algoritmului, pentru fiecare procedeu de prelucrare, sînt cuprinse în tabelul 3.5.1 şi introduse în fişierul de date. Fişierul de date este organizat pe suporţi magnetici (discuri sau benzi), sub forma unor tablouri sau vector cu identificator unic, pentru a putea fi exploatat cu uşurinţă şi fără confuzii. Fişierele au fost organizate pe discul magnetic, întrucît acest mod de organizare permite accesul direct la datele din fişier, identificate printr-un număr de ordine (cheie) stabilit de utilizator. Accesul direct la datele fişierului are avantajul unui timp scurt de prelucrare a acestor date.

Calculul adaosului de prelucrare şi al dimensiunilor intermediare pentru fiecare operaţie şi fază de prelucrare a suprafeţelor, se desfăşoară, după cum este cunoscut, în ordinea inversă a prelucrărilor. Pentru aceasta, în fişierul tehnologic se înregistrează sub forma unui vector, suprafeţele care se prelucrează la fiecare operaţie. Deci, în calculator sînt introduse sub forma unui vector ale cărui componente numerice sînt formate din două părţi separate de un punct zecimal: prima parte reprezintă codul procedeului, iar partea a doua cuprinzînd obligatoriu patru cifre, reprezintă partea numerică a codului suprafeţei.

Pentru procesul tehnologic tipizat al unei piese reprezentative, numărul acestor componente poate ajunge la 180—200 şi pot fi perforate pe 4—16 cartele pentru a fi citite cu instrucţiunea FØRMAT (13F6.3). Deci, toate aceste date în legătură cu calculul adaosului de prelucrare şi al dimensiunilor intermediare ale suprafeţelor sînt introduse în fişier, iar calculul adaosului de prelucrare şi al dimensiunilor intermediare se face cu ajutorul subrutinei ADAOS cuprinsă în programul general.

Calculul regimului optim de aşchiere se efectuează folosind teoria programării matematice neliniare. Algoritmul de calcul este cel prezentat în paragraful (4.3.2).

Pentru principalele procedee de prelucrare întîlnite au fost întocmite modele matematice ale regimurilor de aşchiere respective, cuprinzînd fiecare cîte 3 funcţii obiectiv care exprimă 3 criterii de eficienţă foarte importante din punct de vedere economic şi un sistem de restricţii care exprimă diferite îngrădiri ale regimurilor.

În vederea rezolvării analitice a modelelor matematice cu ajutorul calculatorului electronic, algoritmul de calcul a fost programat pe calculator în limbaj FORTRAN. Schemele logice ale subrutinelor ce alcătuiesc acest subprogram sînt prezentate în paragraful (4.3.5.1.3).

Datele de intrare necesare efectuării calculului regimului optim de aşchiere pentru fiecare operaţie sînt: codul modelului matematic care modelează regimul de aşchiere la prelucrarea respectivă; parametrii iniţiali ai regimului de aşchiere care reprezintă şi valori iniţiale ale variabilelor modelului şi cărora prin rezolvarea modelului matematic li se stabilesc valorile finale optime; coeficienţii şi exponenţii funcţiilor obiectiv şi restrictive. Aceste date, împreună cu datele de intrare în legătură cu unele caracteristici ale sculelor aşchietoare utilizate la fiecare operaţie sînt de asemenea introduse în fişierul de date, însă pot fi actualizate de fiecare dată cînd se modifică.

Caracteristicile cinematice ale maşinilor-unelte utilizate la diferite procedee de prelucrare sînt de asemenea introduse în fişierul de date, ca: gama de viteze, gama de avansuri, puterea motorului electric etc.

Toate datele necesare calculului regimului optim de aşchiere sînt scrise pe un formular de programare obişnuit şi perforate pe cartele pentru a fi citite cu instrucţiunea FØRMAT (8F10.5). Codul modelului este perforat pe o cartelă

Scanned with OKEN Scanner

pentru a fi citit cu FØRMAT (2I5) înaintea datelor menționate mai sus. Pentru fiecare procedeu de prelucrare se formează cîte un pachet de 20—25 cartele cu aceste date și citite într-o ordine oarecare.

Crearea fișierului se face cu ajutorul unui program care transferă informațiile (toate datele de intrare menționate mai sus) din fișierul de cartele (obținut prin perforarea datelor de pe formularele de programare) în fișierul de pe discul magnetic.

Exploatarea fișierului înseamnă utilizarea datelor existente în acesta de către programul general de proiectare automată a proceselor tehnologice și generarea planului de operații pentru oricare piesă din grupa de piese. Programul general se află în biblioteca calculatorului pe o bandă magnetică și adus în lucru cu ajutorul unui mic pachet de cartele de comandă a sistemului de calcul.

Calculul regimului optim de așchiere se face pe baza modelelor matematice întocmite pentru principalele prelucrări ale suprafețelor, cu ajutorul subrutinei REGIM cuprinsă în programul general.

Calculul normei tehnice de timp și ale componentelor acesteia se face cu relațiile prezentate la paragraful (3.8). Parametrii regimului de așchiere care intervin în aceste relații sînt preluați din memoria calculatorului după efectuarea calculului regimului optim de așchiere, ca și numărul de treceri și dimensiunile suprafeței prelucrate. Celelalte date necesare calculului normei tehnice de timp: timpul de pregătire-încheiere, timpul auxiliar, numărul de suprafețe prelucrate succesiv etc., sînt cuprinse în fișierul de date. Acestea pot fi actualizate de fiecare dată cînd este necesară modificarea lor. Calculul normei tehnice de timp se face cu ajutorul subrutinei NORMA cuprinsă în programul general.

Unele din date, cum ar fi utilajul și SDV-urile folosite, precizia și încărcarea utilajelor, numărul de scule folosite la diverse operații și caracteristicile lor etc. trebuie puse la zi (actualizate) după o perioadă de timp. Actualizarea se realizează cu ajutorul unui program de actualizare, care citește informațiile (datele de modificat) de pe un pachet de cartele și le introduce în fișierul de pe banda magnetică.

În ceea ce privește organizarea datelor în fișier, privită prin prisma rezultatelor obținute în urma aplicațiilor făcute nu ridică nici o dificultate în utilizarea acestor date de programul general. De asemenea se poate pune și problema optimizării organizării informațiilor pe suporții magnetici și chiar a programelor de calculator în ceea ce privește capacitatea memorială utilizată și timpul de rulare.

Din cele prezentate în acest paragraf rezultă că pentru proiectarea procesului tehnologic optim de prelucrare a unei piese dintr-o grupă de piese, cu ajutorul calculatorului electronic și obținerea la imprimanta calculatorului a planului de operații în mai multe variante, singurele date de intrare în calculator sînt: numărul de calculator al reperului; codul pentru testarea existenței și încărcării mașinilor-unelte (ICØD = 1 — sînt eliminate utilajele încărcate) și numărul de variante în care s-a cerut proiectarea procesului tehnologic. Aceste date sînt perforate pe o cartelă pentru a fi citită cu instrucțiunea FØRMAT (110, 3I5). Această cartelă este precedată de cartelele de comandă ale calculatorului electronic. Dacă este necesară și actualizarea vreunui fișier pentru anumite date, în prealabil se efectuează actualizarea.

Partea din documentația tehnologică pentru o piesă oarecare obținută la imprimanta calculatorului, (plan de operații) este prezentată în figura 6.2.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

UNIV. DIN BRASOV
FACULTATEA T.C.M.
CATEDRA T.C.M.

P L A N D E O P E R A T I I

VARIANTA TEHNOLOGICA NR. 1, COST = 14.19 LEI/BUC.

NUMELE	DATA	SEMNATURA
TEHNOLOG		

PRODUSUL: AUTOTURISM ARO — CODUL PRODUSULUI:
ANSAMBLUL: CUTIE DE VITEZA — REPER: 4117011180
PIESA: CARCASA — DESEN: 4117011200
BUCATI PE PRODUS: 1 — NR.DE CALCULATOR: 4117011200

MATERIALUL
CALITATE: AT SI5 CU
STARE DE LIVRARE: TURNAT
DIMENSIUNI:
GREUTATE BRUTA: KG
GREUTATE NETA: KG.

NR. OP.	DENUMIREA OPERATIEI	DIMENSIUNI SI TOLERANTE	UTILAJUL	S D V -URI	REGIM DE ASCHIERE I	S	V	N	D.SC.	NR. PIESE NP-2R	TPI	TBUC	NR. PR. PR.
1	-FREZARE DEGROSARE SI FINISARE S1	70.000 .3000	MFV	CAP DE FREZAT DISPOZITIV DE FREZAT PNEUM. SUBLER L = 300 MM	1	950.000	232	235	315.0	1049	18	1.5	7
					1	950.000	232	235	315.0	1049		1.5	
2	-GAURIRE SIMULTAN S2, S3	5.761 .1000 6.600 .1500	MG BK-80	BURGHIU CAP MULTIAX SUBLER L=200 MM	1	.500	109	1400	25.0	22306	25	1.0	9
3	-ALEZARE DOUA GAURI S2	6.600 .1000	MGR RF-22	ALEZOR DISPOZITIV DE GAURIT SUBLER L=200 MM									10
4	-STRUNJIRE DEG+FINISARE SIMUL. S4,S5,S6,S7, S8,S9	28.500 .0330 25.000 .0330 72.000 .0300 95.000 .0350 62.000 .0300 93.000 .0350	MAFO AF.100	CUTIT SI BARA DE ALEZAT DISPOZITIV DE ALEZAT CALIBRU TAMPON,DISP.CONT	1	.111	331	1135	93.0	554	40	1.6	26
					1	.111	331	1135	93.0	554		1.6	
5	-FREZARE DEGROSARE SIMULTAN S10, S11	268.327 .3000 11.250 .2000	MAFO AF.125	CAP DE FREZAT DISPOZITIV DE FREZAT PNEUM. SUBLER L=300 MM	1	1.600 1.600	157 78	200 100	250.0 250.0	3125	22	2.4	38
6	-FREZARE FINISARE SIMULTAN S10, S11	268.000 .3000 11.000 .2000	MAFO AF.125	CAP DE FREZAT DISPOZITIV DE FREZAT PNEUM. TRUSA SPIONI,DISP.CONT.	1	1.600 1.600	223 113	285 145	250.0 250.0	3125	22	2.1	39
7	-TESIRE SIMULTAN S14, S15, S16	3.000 .2000 1.000 .1500 1.000 .1500	MG BK.80	TESITOARE 90 SI 30 GRADE CAP MULTIAX,DISP.DE LUCRU SUBLER L=150 MM									47
8	-TESIRE SIMULTAN S12, S13	1.000 .1500 1.000 .1500	MG BK.80	TESITOARE LA 90 SI 30 GRADE CAP MULTIAX,DISP DE LUCRU SUBLER L=150 MM									51
9	-CANELARE S17	76.000 .4600	MGR BR.56	CUTIT SPECIALE DISP.DE LUCRU,MANDRIN SPEC. COMPAS SPECIAL									52
10	-GAURIRE SIMULTAN S18, S21,S24,S27,S28,S29, S32	13.000 .2000 6.600 .1000	AGREGAT	BURGHIE LA DIMENS.NECESARE DISPOZITIV DE LUCRU	1	.190 .190 .190 .190 .190 .190 .190	24 19 44 32 26 19 38	945 945 945 945 945 945 945	8.2 6.6 15.0 11.0 9.0 6.6 13.0	386	90	3.0	74

Fig. 6.2. Plan de operații obținut la imprimata calculatorului.

Partea a II-a

TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A PIESELOR DE MAŞINI

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 7

TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA ARBORI

7.1. PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A ARBORILOR

În interiorul clasei „arbori" pot fi constituite subclase și grupe de arbori, funcție de forma lor geometrică și dimensiunile suprafețelor, respectiv de diametrul treptelor și de lungimea totală.

Pentru ca procesele tehnologice de prelucrare a pieselor din grupele constituite să difere cît mai puțin de procesele tehnologice optime tipizate ale pieselor reprezentative ale grupelor respective, grupele de piese trebuie să fie astfel constituite, încît limitele de formă geometrică și de dimensiuni să fie cît mai strînse. O astfel de grupă de arbori este reprezentată în figura 7.1.1., în care arborele reprezentativ are suprafețele elementare codificate, după codul din tabelul 2.1.

Procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a arborelui reprezentativ din figura 7.1.2 este prezentat în tabelul 7.1.1.

7.1.1. ANALIZA OPERAȚIILOR DIN PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A ARBORILOR

7.1.1.1. **Prelucrarea suprafețelor frontale de capăt și centruirea.** *În producția de unicate și serie mică* prelucrarea suprafețelor frontale de capăt și centruirea se execută pe strunguri universale, cu avans transversal, odată la un capăt apoi la al doilea capăt.

În producția de serie mare și de masă, această prelucrare, la arborii de dimensiuni relativi mici ($L < 1000$ mm) se execută pe mașini speciale, cu

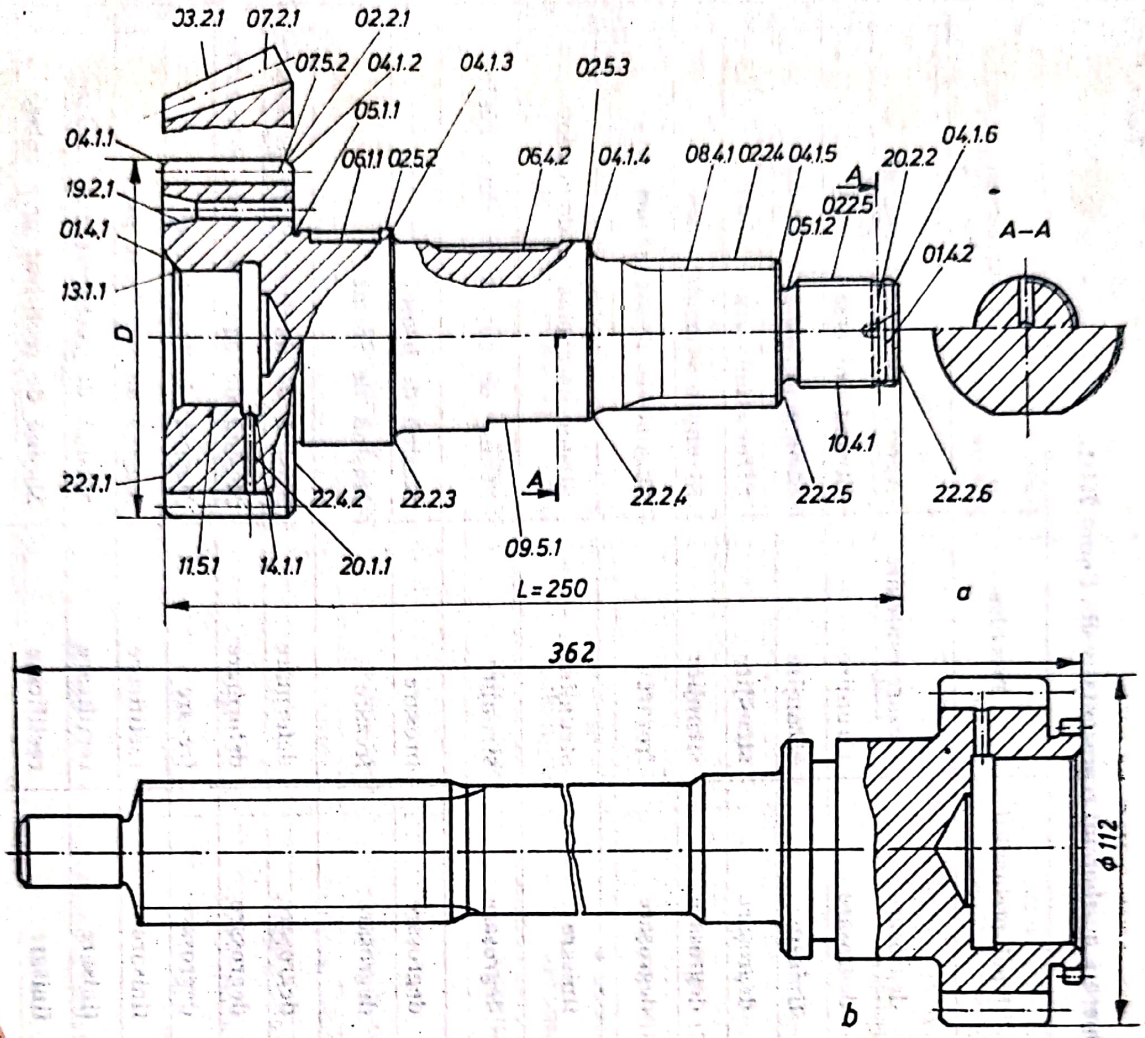


Fig. 7.1.1. Piese caracteristice din clasa „arbori".

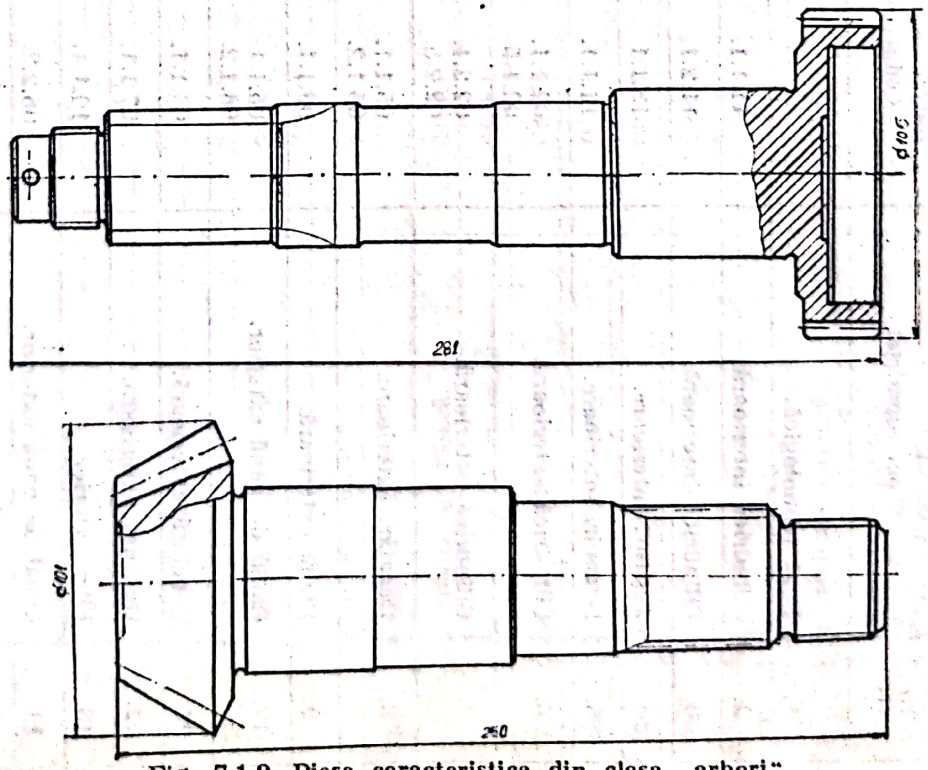


Fig. 7.1.2. Piese caracteristice din clasa „arbori".

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.1.1

Procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a arborelui reprezentativ din figura 7.1.1.

Nr. crt.	Tipul suprafeței	Codul	Tipul prelucrării	Procedeu	Utilajul necesar
1.	Bază tehnologică.		degroșare	frezare-centruire	Agregat de frezat-centruit
2.	Cilindrică interioară.	11.1.1.	degroșare	strunjire	Strung universal
3.	Cilindrică interioară.	11.2.1.	finisare	strunjire	Strung universal
4.	Teșituri interioare.	13.1.1.	degroșare	strunjire	Strung universal
5.	Degajări interioare.	14.1.1.	degroșare	strunjire	Strung universal
6.	Cilindrică exterioară.	02.1.1. 02.1.5.	degroșare	frezare	Mașină de frezat arbori
7.	Cilindrică exterioară.	02.2.1. 02.2.5.	finisare	strunjire	Strung de copiat cu două sănii
8.	Degajări exterioare.	05.1.1. 05.1.2.	degroșare	strunjire	Strung de copiat cu două sănii
9.	Plană exterioară.	09.1.1.	degroșare	broșare	Mașină de broșat
10.	Canal de pană exterior.	06.1.1. 06.1.2.	degroșare	frezare	Mașină de frezat
11.	Canelură exterioară.	08.1.1.	degroșare	deformare	Mașină de danturat prin deformare
12.	Dantură exterioară.	07.1.1.	degroșare	deformare	Mașină de danturat prin deformare
13.	Filet exterior.	10.1.1.	degroșare	frezare	Mașină de frezat filet
14.	Canal de pană exterior.	06.2.2.	finisare	rectificare	Mașină de rectificat plan
15.	Canelură exterioară.	08.2.2.	finisare	rectificare	Mașină de rectificat prin rulare
16.	Dantură exterioară.	07.2.1.	finisare	rectificare	Mașină de rectificat prin rulare
17.	Plană exterioară.	09.2.1.	finisare	rectificare	Mașină de rectificat plan

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.1.1. (continuare)

Nr. crt.	Tipul suprafeței	Codul	Tipul prelucrării	Procedeu	Utilajul necesar
18.	Filet exterior.	10.2.1.	finisare	rectificare	Mașină de rectificat filet
19.	Cilindrică interioară.	11.3.1.	superfinisare	deformare	Strung universal
20.	Dantură exterioară.	07.3.1.	superfinisare	deformare	Mașină de danturat prin rulare
21.	Plană exterioară.	09.3.1.	superfinisare	deformare	Instalație de ecruisat plan
22.	Cilindrică exterioară.	02.3.2. 02.3.3.	superfinisare	deformare	Strung universal
23.	Tratament termic.				
24.	Baza tehnologică.		finisare	rectificare	Mașină de rectificat găuri de centr.
25.	Cilindrică interioară.	11.4.1.	finisare	rectificare	Mașină de rectificat interior
26.	Canal de pană exterior.	06.4.1.	finisare	rectificare	Mașină de rectificat plan
27.	Canelură exterioară.	08.4.1.	finisare	rectificare	Mașină de rectificat prin rulare
28.	Dantură exterioară.	07.4.1.	finisare	rectificare	Mașină de rectificat prin rulare
29.	Plană exterioară.	09.4.1.	finisare	rectificare	Mașină de rectificat plan.
30.	Cilindrică exterioară.	02.4.2 02.4.3.	finisare	rectificare	Mașină de rectificat exterior
31.	Filet exterior.	10.4.1.	finisare	rectificare	Mașină de rectificat filet
32.	Cilindrică interioară.	11.5.1.	superfinisare	honuire	Mașină de honuit
33.	Dantură exterioară.	07.5.1.	superfinisare	honuire	Mașină de honuit dantură
34.	Plană exterioară.	09.5.1.	superfinisare	șlefuire	Mașină de șlefuit
35.	Cilindrică exterioară.	02.5.2. 02.5.3.	superfinisare	vibro-netezire	Mașină de vibro-netezire

Scanned with OKEN Scanner

masă longitudinală, cu avans longitudinal (fig. 7.1.3) sau cu tambur rotitor (cu avans circular, v. fig. 7.1.4).

Pe ambele mașini frezarea suprafețelor frontale se execută simultan, în timp ce masa se deplasează longitudinal, iar tamburul se rotește, cu avans de lucru. După frezare, la prima mașină, masa longitudinală se deplasează iar la cea de-a doua mașină tamburul se rotește cu avans rapid pînă în dreptul capetelor de centruit, apoi se oprește și se execută centruirea, de asemenea simultan la ambele capete ale arborelui.

La mașina cu tambur rotitor, evacuarea și încărcarea se execută în timp ce are loc frezarea și centruirea, ceea ce face ca productivitatea mașinii res-

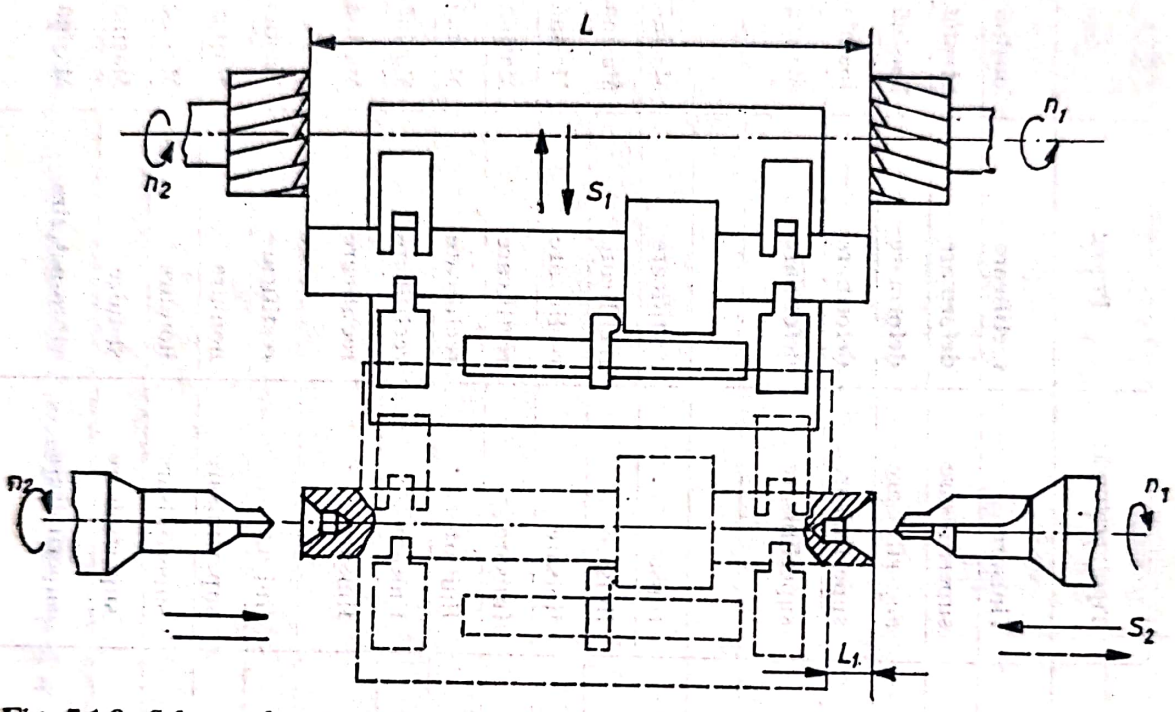


Fig. 7.1.3. Schema de principiu a agregatului de frezat și centruit cu masă deplasabilă.

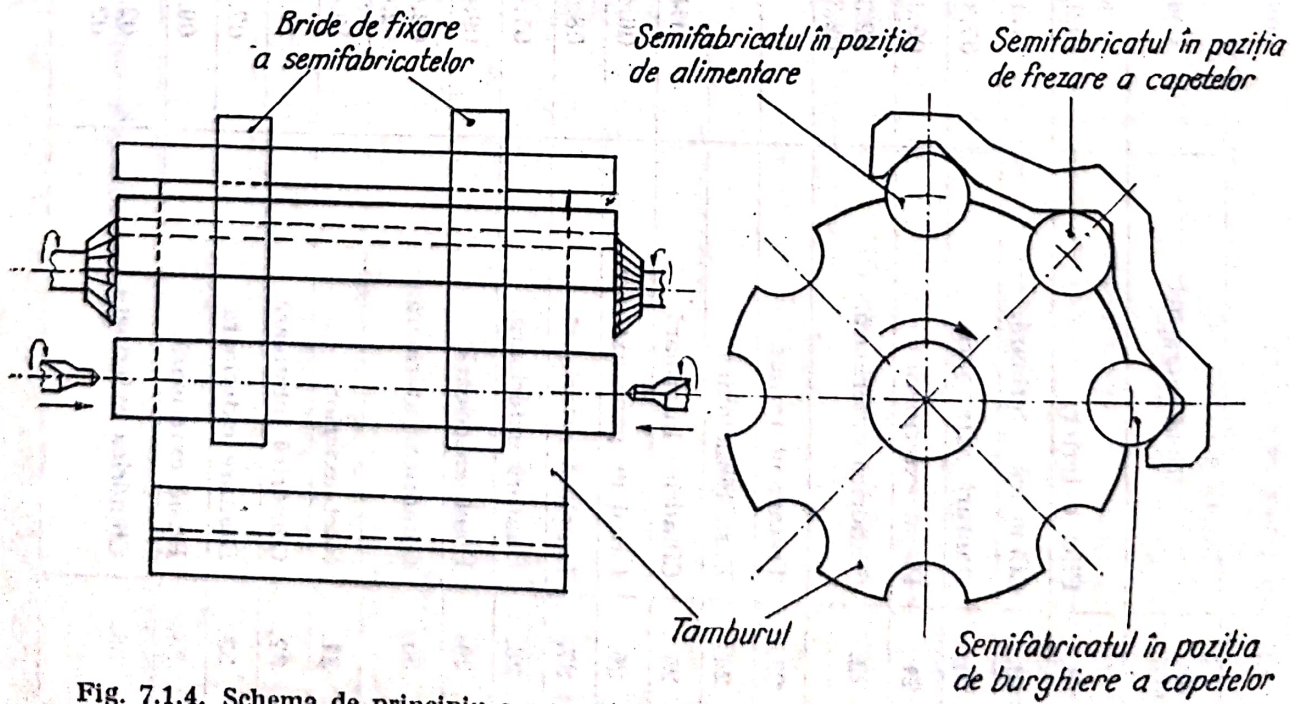


Fig. 7.1.4. Schema de principiu a agregatului de frezat și centruit cu tambur rotativ.

Scanned with OKEN Scanner

pective, să fie mai mare decît a mașinii cu masă cu deplasare longitudinală intermitentă.

Găurile de centrare ale arborilor au o importanță foarte mare atît pentru operațiile de strunjire, de rectificare, cît și pentru multe altele. La operațiile de reparație a arborilor se folosesc găurile inițiale de centrare, precum și atunci cînd este nevoie a se găsi axa de simetrie a arborelui respectiv.

Găurile de centrare sînt de obicei bazele tehnologice pentru un șir întreg de operații, ceea ce impune ca ele să fie date de la bun început cît se poate mai concret, pentru a se putea menține nedeteriorate tot timpul desfășurării proceselor tehnologice de prelucrare, precum și în tot timpul exploatării, pentru a putea apoi fi folosite ca baze tehnologice și la reparația arborilor.

Pentru a putea fi respectate cele de mai sus, operației de centruire i se impun cîteva condiții importante, dintre care cele mai principale sînt următoarele:

— întrucît găurile de centrare preiau pe lîngă greutatea proprie a arborelui și forțele de așchiere ce apar în timpul prelucrării, ele trebuie să fie baze tehnologice solide. De aceea, găurile de centrare vor trebui să aibă nu numai o anumită dimensiune, ci și o conicitate precisă, care să corespundă întocmai cu conicitatea vîrfului de strung. Nerespectarea acestei condiții duce la o deteriorare rapidă (prematură) a găurilor de centrare, la deteriorarea însăși a vîrfurilor de strung, precum și la erori de formă la prelucrarea piesei, mai ales la prelucrările prin rectificare. Nu se consideră a fi rațională stabilirea de toleranțe la unghiurile conurilor găurilor de centrare, întrucît sînt foarte greu de controlat. Neajunsurile formei clasice a găurilor de centrare au fost eliminate de găsirea unei noi forme a acestora, așa după cum se vede în figura 7.1.5;

— ambele găuri de centrare trebuie să aibă o axă comună de simetrie. Urmările nerespectării acestei reguli se pot vedea ușor în figura 7.1.6. După cum se vede din figură, datorită necoaxialității găurilor de centrare, conicitatea vîrfurilor de strung nu corespunde cu aceea a găurilor de centrare, ceea ce face ca piesa să nu se reazeme pe vîrfuri cu întreaga suprafață conică a găurilor de centrare. Găurile de centrare lucrează neuniform, lucru ce le provoacă o uzură rapidă (prematură) producînd în același timp și o deteriorare a vîrfurilor de strung. Dacă găurile de centrare au forma arătat în figura 7.1.5, atunci condiția aceasta nu mai trebuie să fie riguros respectată, pentru că și într-un caz și în altul contactul între gaura de centrare și vîrful de strung se face pe un cerc;

— găurile de centrare trebuie date în așa fel încît adaosul de prelucrare în toate punctele de pe suprafața exterioară a piesei să fie egal pe cît posibil.

Dacă adaosul de prelucrare nu este uniform, atunci în timpul prelucrării o să avem adîncimi de așchiere diferite, deci forțe de așchiere diferite, lucru

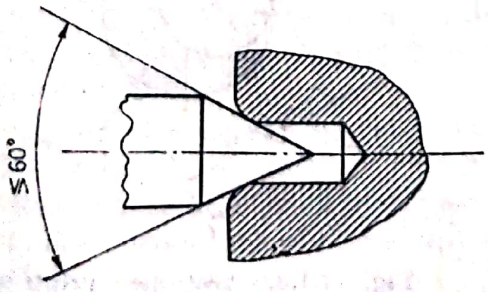


Fig. 7.1.5. Gaură de centrare cu suprafața de așezare curbă.

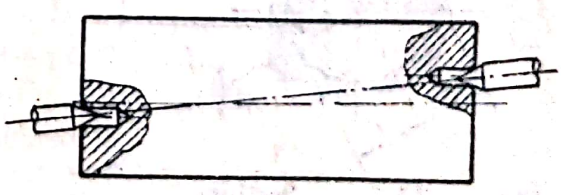


Fig. 7.1.6. Poziția piesei cînd găurile de centrare sînt necoaxiale.

Scanned with OKEN Scanner

ce face ca la o rigiditate scăzută a strungului să se obțină o piesă cu o formă geometrică neregulată. În urma centruirii incorecte, dacă adaosul de prelucrare nu este suficient de mare, pe suprafața piesei prelucrate o să rămînă pete negre.

Dacă semifabricatul nu este strîmb, atunci găurile de centrare vor trebui să fie date exact în centrul suprafeței de capăt.

În mod practic la centruirea semifabricatelor pe mașinile de centruit, dacă se lucrează cu atenție, se poate obține o precizie de 0,3—0,8 mm în funcție de diametrul semifabricatului (10—200 mm).

Eroarea de centrare este cauzată de neregularitatea suprafeței exterioare a semifabricatului care este bază tehnologică la fixarea lui în prismele de fixare a mașinii de centrat. Pe lîngă neregularitățile suprafeței mai are influență asupra erorii de centrare pe mașina de centrat și curbura semifabricatului. La semifabricatele forjate, din cauzele arătate mai sus, nu se poate obține o precizie mai mare de 1—3 mm la centruire. Dacă semifabricatul este bară trasă sau decojită în prealabil la strung, la centruirea pe mașina de centruit se poate obține o precizie de 0,05—0,2 mm. Dacă centruirea se face pe strung cu ajutorul ceasului comparator, atunci găurile de centrat se pot da cu o precizie de 0,01—0,05 mm excentricitate.

Semifabricatele forjate mari (de obicei strîmbe) se centrează după trasaj. Această operație de trasaj este de foarte mare răspundere întrucît dacă centruirea nu se face corect, pe lîngă faptul că piesa ar putea fi rebutată, este foarte mult îngreunată prelucrarea ei, ceea ce face ca și costul să se ridice foarte mult.

În figura 7.1.7 este redată o secțiune transversală printr-un semifabricat forjat liber pentru a se putea arăta într-un mod mai sugestiv care este valoarea maximă a „bătăii" față de centrul găurii de centrare.

Dacă notăm cu r_{min} mărimea care definește poziția punctului celui mai apropiat de pe suprafața semifabricatului față de axa lui de simetrie (în cazul de față punctul A), iar cu R a celui mai îndepărtat punct, atunci mărimea maximă a bătăii este:

$$\Delta = R - r_{min}. \tag{7.1.1}$$

Dacă semifabricatul este bară laminată, iar centruirea nu s-a făcut corect (așa după cum se vede în figura 7.1.8), mărimea bătăii este:

$$\Delta = r_{max} - r_{min}.$$

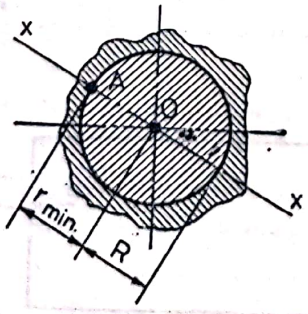


Fig. 7.1.7. Secțiune transversală printr-un semifabricat forjat liber.

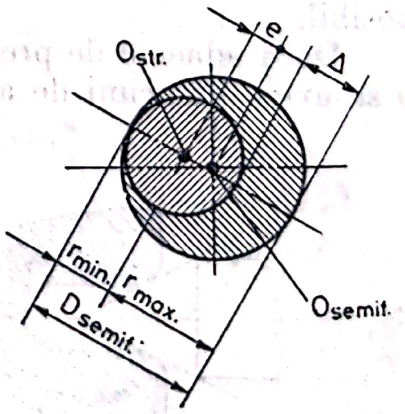


Fig. 7.1.8. Secțiune printr-un semifabricat din bară laminată centruit excentric.

Scanned with OKEN Scanner

Știind că $D_{semif} = r_{min} + r_{max}$, se obține:

$$2r_{min} = D_{semif} - \Delta. \tag{7.1.2}$$

Deci, diametrul maxim teoretic ce se poate obține dintr-un semifabricat laminat cu diametrul D_{semif} și cu bătaia Δ este egal cu diferența dintre ele.

În astfel de cazuri, cînd avem semifabricate laminate, în mod practic trebuie să se rezolve următoarele probleme:

a — să se determine dacă piesa iese sau nu curată pe toată suprafața, în urma centruirii făcută incorect (așa cum se vede în figura de mai sus);

b — să se determine cu cît trebuie să se deplaseze gaura de centru pentru o nouă centruire.

Cunoscîndu-se mărimea diametrului semifabricatului D_{semif} și mărimea bătăii Δ, se poate scrie condiția în care, în urma degroșării, servindu-se de gaura de centru inițială, se poate obține arborele cu diametrul dat d_a:

$$d_a \leqslant 2r_{min} - 2a_{min} \quad \text{sau} \tag{7.1.3}$$

$$d_a \leqslant D_{semif} - \Delta - 2a_{min}. \tag{7.1.4}$$

Mărimea $2r_{min}$ (adică diametrul maxim) se determină cu relația (7.1.2). Pe rază, în punctul *A*, trebuie să rămînă un adaos minim de prelucrare a_{min} pentru operația de finisare, pentru a se asigura îndepărtarea defectelor stratului superficial.

Dacă condiția de mai sus nu este îndeplinită, trebuie centrat din nou. Mărimea minimă δ_{min} cu care trebuie schimbate găurile de centrare inițial pentru a se obține diametrul d_a dat, se determină cu relația:

$$r_{min} + \delta_{min} \geqslant \frac{d_a}{2} + a_{min}, \tag{7.1.5}$$

de unde rezultă:

$$\delta_{min} \geqslant \frac{d_a}{2} + a_{min} - r_{min}. \tag{7.1.6}$$

Găurile de centrare date la ambele capete trebuie să aibă aceeași adîncime față de suprafața de capăt a arborelui la toate semifabricatele lotului respectiv.

Fie de exemplu, de confecționat un lot de arbori de lungime *L* și cu *a* lungimea segmentului cu diametrul cel mai mare (fig. 7.1.9). Reglarea mașinii-unelte la cotă cu ajutorul opritorului *O* pentru a obține dimensiunea *a* s-a făcut după primul arbore ale cărui găuri de centrare au adîncimea *b*. Adîncimea găurilor de centrare ale celui de-al doilea arbore este b_1, mai mare decît *b* adîncimea găurilor de centrare a primului arbore, ceea ce face ca și lungimea a_1 să fie mai mare decît *a*.

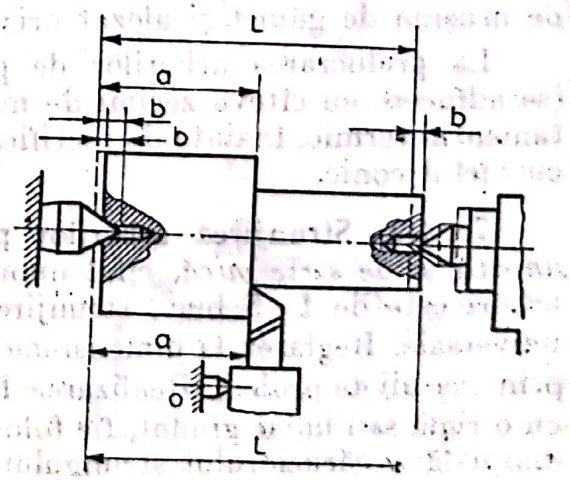


Fig. 7.1.9. Schema de reglaj pentru strunjirea unui lot de arbori care au adîncimea găurilor de centrare diferită.

Precizia dimensiunii *a* este funcție de precizia dimensiunii *b*. Eroarea de așezare care afectează dimensiunea *a* este egală cu toleranța dimensiunii *b* conform relației cunoscute:

$$\varepsilon_{real} = \delta_b.$$

Scanned with OKEN Scanner

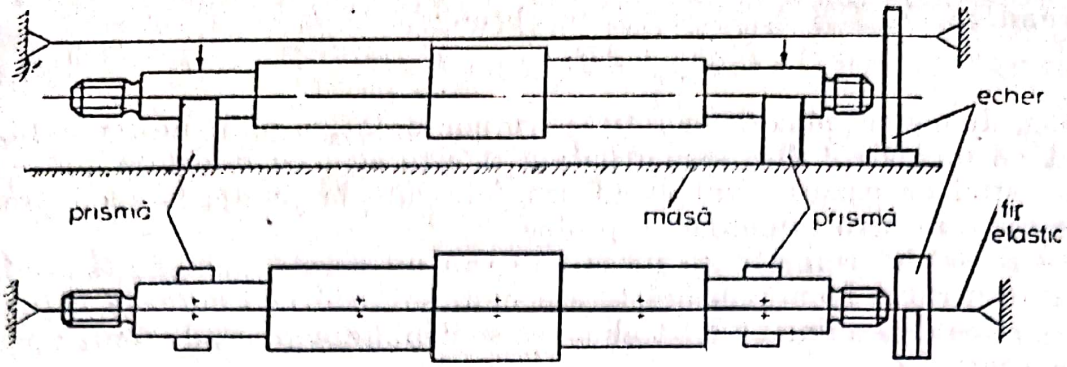


Fig. 7.1.10. Trasarea locului geometric al găurilor de centrare la arbori grei.

Deci, cu cît toleranța adîncimii găurilor de centrare este mai mică, cu atît mai mic va fi cîmpul de dispersie al dimensiunii de lungime a segmentelor arborilor din lotul ce se prelucrează.

Găurile de centrare se pot executa cu un burghiu elicoidal și apoi cu un zencuitor sau în mod obișnuit cu un burghiu combinat special, numit burghiu de centruit. Acesta din urmă are însă marele neajuns că este foarte fragil și odată rupt nu mai poate fi întrebuințat.

În marea majoritate a uzinelor noastre constructoare de mașini s-au înrădăcinat diferite metode rapide de prelucrare, ceea ce a făcut ca vîrful de strung fix, să fie înlocuit cu vîrful de strung mobil de diferite construcții. Un mare neajuns însă al acestor vîrfuri de strung este acela că au o rigiditate mai mică decît vîrfurile fixe. Rigiditatea vîrfurilor de strung mobile este aproximativ $1\,600 \cdot 10^4 \frac{N}{m}$ pe cînd a vîrfurilor fixe este de $9\,400 \cdot 10^4 \frac{N}{m}$. Se recomandă a se folosi la prelucrarea arborilor mari vîrful de strung mobil tip L.P.I. a cărui rigiditate este $7\,000 \cdot 10^3 \frac{N}{m}$ [48].

La arborii grei centruirea se face după trasaj, iar trasajul se face după fir. Arborele se fixează pe două prisme pe o masă de trasat, deasupra căruia stă întins un fir, așa cum se vede schematic în figura 7.1.10.

Frezarea unei suprafețe de capăt și executarea găurii de centrare se face pe mașina de găurit și alezat orizontală.

La prelucrarea arborilor de precizie, găurile de centrare se îndreaptă (se adîncesc cu cîteva zecimi de mm) după operația de degroșare. După tratamentul termic, înainte de rectificare, găurile se curăță cu o piatră de ascuțit cu vîrful conic.

7.1.1.2. **Strunjirea arborilor pe strunguri de copiat.** *În producția de unicate și de serie mică*, cînd numărul pieselor de aceeași tipodimensiune de arbori este de 1—5 buc., strunjirea arborilor în trepte se face pe strunguri universale. Reglarea la dimensiune pentru prelucrarea fiecărei trepte se face prin „așchii de probă". Realizarea lungimii treptelor se face fie prin măsurarea cu o riglă sau liniar gradat, fie folosind discul gradat de pe roata de antrenare manuală a căruciorului strungului.

Cînd numărul arborilor unei tipodimensiuni (este mai mare de 5 buc., atît strunjirea de degroșare cît și cea de finisare se face pe strunguri universale

Scanned with OKEN Scanner

prevăzute cu dispozitive de copiat hidraulic. Copierea se face după un *şablon* confecţionat dintr-o placă prismatică din oţel tratat termic (pentru a i se mări rezistenţa la uzură) sau după un *arbore etalon*.

La calculul înălţimii treptelor şablonului sau a diferenţei dintre diametrele arborelui etalon trebuie să se ţină seama de mărimea deformaţiei elastice a sistemului tehnologic elastic MUPS, care are loc în timpul procesului de aşchiere.

În producţia de serie mare şi de masă strunjirea prin copiere a arborilor în trepte se face pe strunguri cu comandă numerică (CN), pe strunguri cu opritori şi instalaţie hidraulică de copiat, pe strunguri cu sau fără sistem de schimbare automată a turaţiei la trecerea de la prelucrarea unei trepte la a altei trepte a arborelui.

Strunjirea pe strunguri cu sistem de schimbare automată a turaţiei în timpul prelucrării unui arbore prezintă un mare avantaj faţă de strunjirea pe strunguri fără un astfel de sistem, avantaj care constă în aceea, că toate treptele arborelui se prelucrează cu viteza optimă de aşchiere.

Pentru mărirea flexibilităţii strungului de copiat, acesta este prevăzut cu un tambur rotitor, pe care se fixează 2—6 şabloane. După ce palpatorul a parcurs un şablon (în cadrul unei faze a operaţiei), tamburul rotitor se roteşte cu un pas şi copierea se efectuează în faza următoare după şablonul următor.

Pe astfel de strunguri se pot efectua în cadrul aceleiaşi operaţii, atît prelucrări de degroşare cît şi de semifinisare şi de finisare, prin rotirea succesivă cu cîte un pas a tamburului port-şabloane.

Precizia prelucrării prin copiere este funcţie (pe lîngă alţi factori, v. cap. 5), de precizia de execuţie a şabloanelor sau arborilor etalon.

Pe anumite strunguri (MAKOMAT, SP-31 etc.) fazele de degroşare şi de semifinisare se execută cu ajutorul opritorilor fixaţi pe un tambur rotitor şi numai strunjirea de finisare se efectuează prin copiere.

Analizînd condiţiile de lucru ale cuţitului de strung la strunjirea prin copiere, rezultă următoarele constatări:

— în zonele de trecere de la o treaptă la alta, adaosul de prelucrare fiind mai mare decît de-a lungul generatoarei treptelor, cuţitul lucrează în condiţii foarte grele, existînd chiar pericolul de rupere a vîrfului cuţitului, dacă adaosul de prelucrare din zona respectivă nu se îndepărtează în prealabil, cu cuţitul sau cuţitele fixate pe sania transversală a strungului (fig. 7.1.11);

— durabilitatea muchiei aşchietoare a cuţitului este relativ mică (chiar dacă strunjirea se face cu regimul optim de aşchiere) deoarece întreg adaosul de prelucrare se îndepărtează de către o singură muchie aşchietoare, afară de cazul în care strungul este prevăzut cu un cap revolver în care sînt fixate mai multe cuţite (cîte unul pentru fiecare fază a operaţiei).

Pentru reducerea timpului de lucru pe bucată (τ_{buc}) strungurile moderne de copiat (în special cele cu CN) sînt prevăzute cu două sănii care lucrează si-

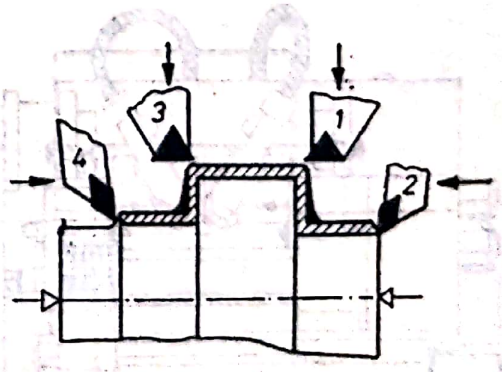


Fig. 7.1.11. Prelucrarea cu cuţite montate pe sania transversală (*1* şi *3*) şi prin copiere (*2* şi *4*).

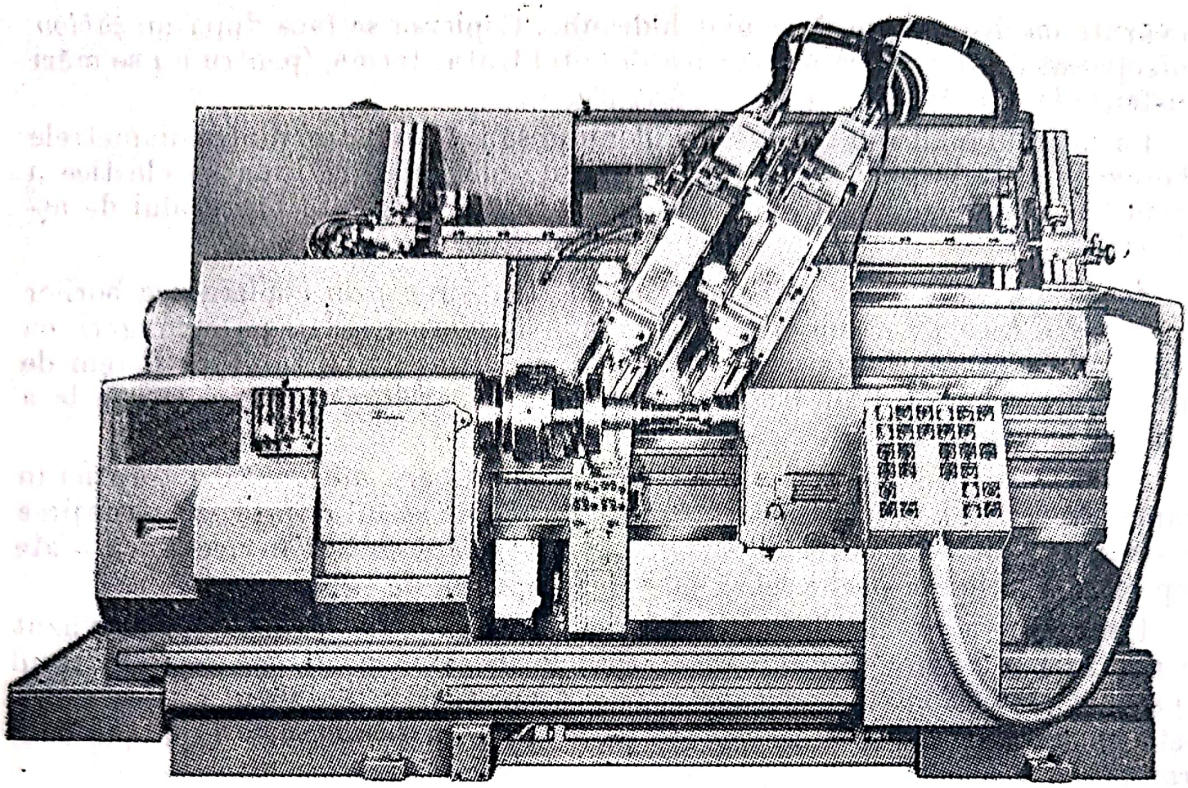


Fig. 7.1.12. Strung de copiat cu două sănii longitudinale.

multan în direcții opuse și anume: una de la un capăt, iar a doua sanie de la celălalt capăt al arborelui (vezi figurile 7.1.12 și 7.1.13).

7.1.1.3. **Strunjirea arborilor pe strunguri semiautomate cu multicuțite.** Cei mai des întîlniți arbori în trepte în construcția de mașini au diametrele cuprinse între 25—40 mm și lungimea între 150 și 500 mm și destul de rar de 1 000 mm și mai mult.

Procesul tehnologic tipizat de prelucrare mecanică a arborilor în trepte a fost dat sub formă de fișă tehnologică (tabelul 7.1.1). Utilizînd acest proces tehnologic tipizat, se poate proiecta procesul tehnologic detaliat cu plane de operații pentru orice fel de arbore în trepte, adăugînd sau excluzînd diferite operații față de procesul tehnologic tipizat, funcție de fiecare caz concret în parte.

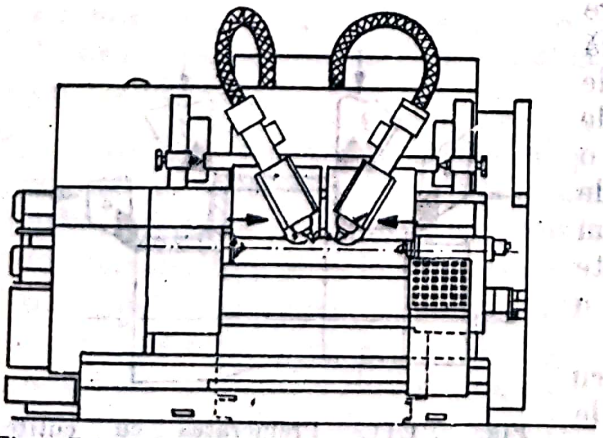


Fig. 7.1.13. Poziția săniilor la prelucrarea bilaterală.

Strunjirea de degroșare și finisare se execută, funcție de rigiditatea arborelui pe strunguri semiautomate multicuțite cu unul sau mai multe axe sau pe strunguri semiautomate de copiat, pe strunguri universale prevăzute cu suporți de copiat hidraulici sau în sfîrșit pe strunguri universale.

La strunjirea arborilor în trepte pe strunguri multicuțite gradul de

Scanned with OKEN Scanner

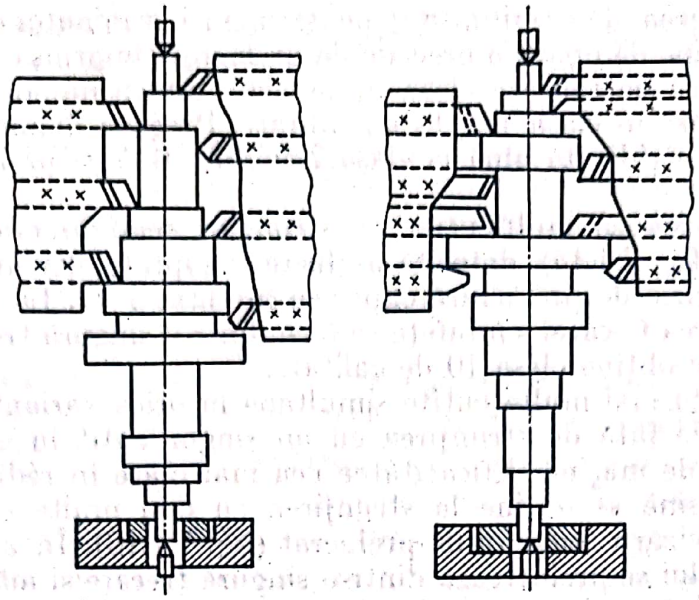


Fig. 7.1.14. Schema de reglaj pentru strunjirea arborilor scurți în trepte pe un strung semiautomat vertical cu mai multe axe.

concentrare al operațiilor poate să se ridice foarte mult, ajungînd să se facă prelucrarea cu pînă la 10 cuțite simultan, funcție de mărimea, rigiditatea și complexitatea arborilor. Arborii în trepte scurte și rigide se prelucrează în producția de serie mare și masă pe strunguri verticale cu mai multe axe. Schema de reglaj la lucrul pe un astfel de semiautomat este redată în figura 7.1.14.

Alegerea variantei tehnologice de executare a operației de bază a prelucrării arborilor, strunjirea, este o problemă complicată. Cea mai mare greutate o prezintă alegerea între prelucrarea pe strunguri multicuțite semiautomate și strungurile semiautomate de copiat hidraulice.

Asupra preciziei de prelucrare a arborilor cu mai multe cuțite simultan au influență o serie de factori suplimentari: eroarea poziției relative a cuțitelor la reglare; uzura inegală a cuțitelor care lucrează în condiții diferite; comprimarea elastică variabilă a sistemului tehnologic mașină-unealtă-piesă-sculă datorită intrării succesive în așchie a cuțitelor (fig. 7.1.15).

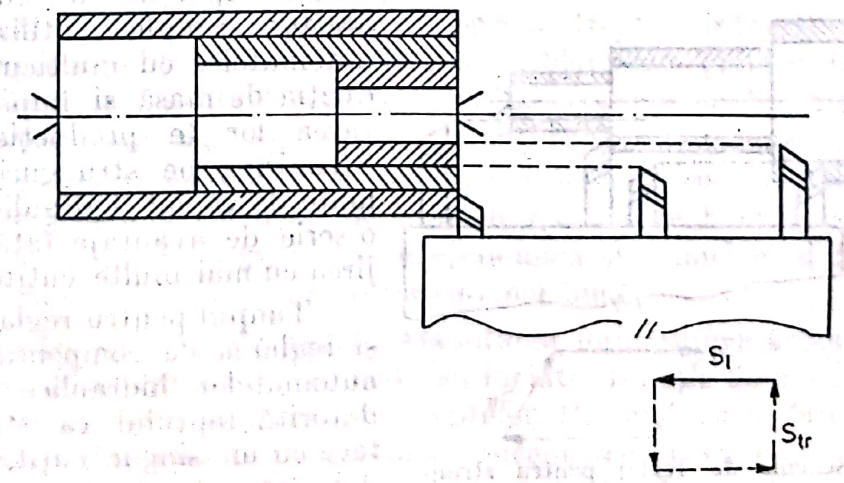


Fig. 7.1.15. Schema de reglaj pentru strunjirea cu multicuțite cu intrare succesivă în așchie.

La prelucrarea de semifinisare pe strunguri semiautomate multicuțite cu un ax se obține de obicei o precizie de prelucrare cuprinsă în clasa 10—11, iar la prelucrarea de finisare clasa 9; precizia dimensiunilor liniare este de asemenea cuprinsă în clasa 10—11 de calitate. Precizia diametrelor arborelui în trepte poate fi ridicată pînă la clasa 7 și chiar 6 dacă prelucrarea se face cu cuțite late.

La prelucrarea cu multicuțite pe strunguri semiautomate verticale cu mai multe axe (fig. 7.1.14), datorită prelucrării suprafețelor din cîteva treceri se obține o precizie de prelucrare cuprinsă în clasa 6—7. La semiautomatele la care prelucrarea fiecărei suprafețe se face dintr-o singură trecere cu cîte un singur suport, se obține clasa 10 de calitate.

Strunjirea cu mai multe cuțite simultane în orice variantă de executare prezintă avantaje față de strunjirea cu un singur cuțit în ceea ce privește timpul de bază de mașină. Eficacitatea cea mai mare în reducerea timpului de bază de mașină se obține la strunjirea cu mai multe cuțite simultan după metoda divizării lungimii de prelucrat (fig. 7.1.16). În acest caz fiecare treaptă a arborelui se prelucrează dintr-o singură trecere și mărimea timpului de bază de mașină se determină după cuțitul care așchiază pe lungimea cea mai mare. După schema din figura 7.1.16 se face strunjirea arborilor atunci cînd semifabricatele sînt matrițate, turnate sau forjate, adaosul de prelucrare fiind dispus aproximativ uniform pe toate treptele.

Atunci cînd se folosește drept semifabricat bară laminată pentru un arbore în trepte, trebuie ca operația de strunjire să se proiecteze după metoda divizării adaosului de prelucrare (fig. 7.1.15), întrucît pe treptele cu diametre mici adaosul de prelucrare fiind mare, nu poate fi îndepărtat dintr-o singură trecere; timpul de bază de mașină se determină în acest caz prin suma lungimilor acestor trepte.

În ceea ce privește timpul de lucru pe bucată, strunjirea cu mai multe cuțite simultan nu totdeauna prezintă avantaje față de strunjirea pe semiautomate de copiat. Acest lucru se explică prin aceea că la lucru pe strungurile semiautomate cu mai multe cuțite se consumă un timp mare de pregătire-încheiere și de deservire tehnică. S-a demonstrat teoretic și experimental că dacă numărul de cuțite q este mai mare sau mai mic decît numărul optim q_{opt}, timpul de lucru pe bucată crește.

În afară de aceasta, numărul de cuțite mai este limitat de rigiditatea piesei care se prelucrează, de puterea mașinii și de complexitatea constructivă a suporților de cuțite. Toate acestea complică utilizarea semiautomatelor cu multicuțite în producția de masă și împiedică utilizarea lor în producția de serie. Strunjirea pe strunguri semiautomate de copiat hidraulice prezintă o serie de avantaje față de strunjirea cu mai multe cuțite simultan.

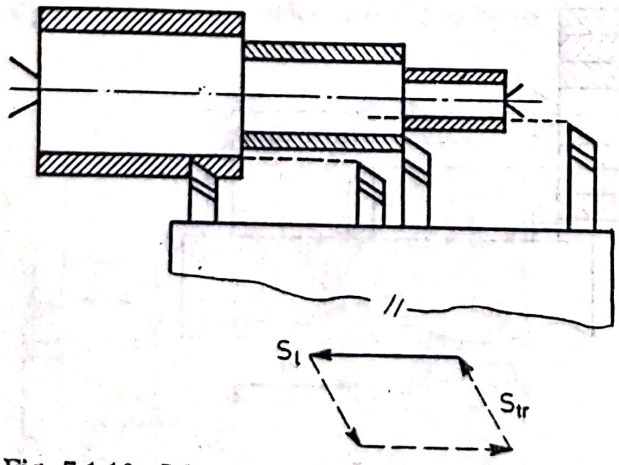


Fig. 7.1.16. Schema de reglaj pentru strunjirea cu multicuțite simultan cu divizarea lungimii de prelucrare.

Timpul pentru reglarea inițială și reglarea de compensare a semiautomatelor hidraulice de copiat, datorită faptului că strunjirea se face cu un singur cuțit, precum și datorită simplității modului de fixare al șablonului și a simpli-

Scanned with OKEN Scanner

ficării reglării cinematice, este mai mic de 2—3 ori față de strungul semiautomat cu multicuțite și necesită pentru o reglare de complexitate medie numai 30—35 min.

Acest lucru face să fie avantajoasă prelucrarea pe strunguri semiautomate de copiat a loturilor mici de piese. Productivitatea muncii la lucrul pe strunguri semiautomate de copiat se mărește nu numai pe seama reducerii timpului necesar pentru reglarea mașinii, ci și pe seama lucrului cu viteze de așchiere și avansuri de lucru mult mai mari și a posibilității mai largi de utilizare a puterii mașinii.

La strunjirea de finisare prin copiere se asigură obținerea unei precizii mult mai mari de prelucrare (0,05—0,06 mm) decît cu multicuțite simultan, datorită sensibilității ridicate a sistemului de urmărire, care asigură o concordanță între dimensiunile piesei care se prelucrează și dimensiunile șablonului. Influența deformațiilor elastice ale sistemului tehnologic elastic mașină-unealtă-piesă-sculă asupra preciziei de prelucrare a piesei este minimă față de prelucrarea cu multicuțite, datorită faptului că așchierea se face cu un singur cuțit. Eroarea de prelucrare este provocată în general de uzura cuțitului pe fața de așezare, de deformația termică a cuțitului și a piesei, precum și de fixarea incorectă a cuțitului.

Deosebit de rațională este prelucrarea prin copiere a arborilor cu o rigiditate scăzută, cu lungimi mari ale treptelor și cu pretenții mari asupra calității suprafețelor, lucru care nu se poate realiza la strunjirea cu multicuțite simultan după metoda divizării lungimii de așchiat.

Tipurile noi de strunguri semiautomate de copiat hidraulice permit prelucrarea arborilor în trepte cu diametre pînă la 350 mm și lungimea pînă la 1 200 și chiar 1 600 mm, de exemplu, strungurile tip Georg Fischer.

În afară de prelucrarea pe strunguri semiautomate de copiat hidraulice, în producția de serie este rațională prelucrarea arborilor pe strunguri universale prevăzute cu suporți hidraulici de copiat. Utilizarea suporților hidraulici de copiat permite reducerea timpului auxiliar de 2—3 ori față de strungurile obișnuite universale fără suporți hidraulici. Reducerea timpului auxiliar se face pe seama reducerii timpului necesar măsurării diametrelor treptelor arborelui. La strunjirea pe strunguri prevăzute cu suporți hidraulici de copiat este suficientă măsurarea diametrului primei trepte, întrucît diametrul celorlalte trepte se obține automat datorită șablonului. Timpul de lucru pe bucată se reduce de 2,5—3 ori față de lucrul pe strungurile obișnuite. Timpul de pregătire-încheiere este atît de mic, încît timpul consumat în plus cu fixarea și reglarea șablonului și a cuțitului față de strungul obișnuit este compensat de economia de timp de bază de mașină pe bucată, astfel încît prelucrarea pe aceste strunguri devine economică și atunci cînd loturile de arbori sînt formate din chiar numai patru-cinci bucăți.

În producția individuală pentru executarea unui singur arbore se folosește drept semifabricat bară laminată sau forjată, funcție de mărimea arborelui și de diferența dintre diametrele treptelor. Prelucrarea se face pe strunguri universale obișnuite după metoda concentrării lucrului la un singur loc de muncă, executîndu-se succesiv fiecare treaptă. În acest caz prelucrarea începe cu strunjirea treptei care are diametrul cel mai mare. Treapta

Scanned with OKEN Scanner

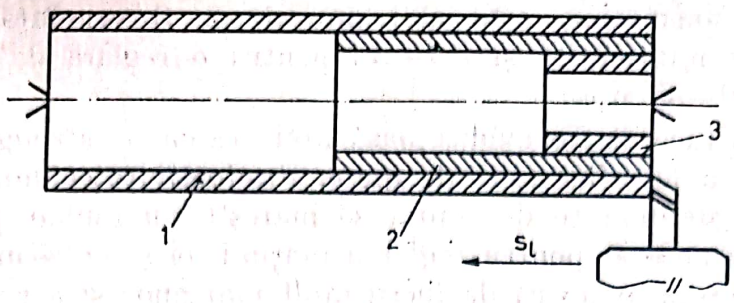


Fig. 7.1.17. Strunjirea unui arbore în producția individuală după metoda concentrării lucrului la un singur loc de muncă.

cu diametrul cel mai mic se prelucrează la urmă pentru a nu se reduce prea mult rigiditatea arborelui (fig. 7.1.17).

Deoarece pentru strunjirea fiecărei trepte cuțitul se reglează la dimensiune prin luare de așchii de probă, este rațional să se strunjească mai întîi la dimensiunea finită suprafețele cilindrice ale treptelor și apoi cele frontale pentru realizarea dimensiunii care definește lungimea treptelor. În caz contrar există pericolul de rebutare a arborelui, deoarece la reglarea la dimensiune a cuțitului prin luare de așchii de probă se poate întîmpla să rezulte pe porțiunea strunjită un diametru sub limita inferioară admisibilă. Dacă strunjirea arborelui se face în succesiunea prezentată mai sus, pericolul rebutării se exclude, deoarece atunci cînd se face strunjirea suprafețelor frontale porțiunea cilindrică cu diametrul mai mic de la capătul treptelor pe care s-a făcut reglarea la dimensiune a cuțitului prin luare de așchii de probă se îndepărtează, lungimea ei fiind mai mică sau egală cu adaosul de prelucrare la lungime a treptelor.

Tehnologia de prelucrare a arborilor de dimensiuni mari (a arborilor de vapoare, a celor de hidroturbine puternice etc.) prezintă o serie de particularități față de cea a arborilor de dimensiuni obișnuite.

Strunjirea acestor arbori cu o greutate de pînă la 150 tone se face pe strunguri grele cu distanța între vîrfuri de cîțiva zeci de metri. Puterea acestor strunguri este de circa 350 C.P. Strungurile au cîțiva suporți de o parte și de alta a batiului. Lunetele mobile și cele fixe sînt prevăzute cu role.

Pentru a evita necesitatea strunjirii în prealabil a unei suprafețe de reazem a arborelui în lunetă, se utilizează o bucșă specială prevăzută cu patru șuruburi de reglare dispuse radial la capetele bucșei, după cum se vede în figura 7.1.18.

Astfel de arbori se confecționează după metoda concentrării operațiilor. Toleranțele la ovalitate și conicitate sînt foarte mici. Ovalitatea segmentelor de lucru nu se admite a fi mai mare de 0,01—0,02 mm. Concentricitatea diferitelor trepte din lungul arborelui de asemenea este îngrădită de toleranțe mici, mai ales la arborii care în timpul exploatării au turații mari.

La arborii mari prevăzuți cu alezaj axial succesiunea fazelor este diferită, după cum s-a amintit acest lucru. Mai întîi se execută alezajul respectiv, apoi se introduc la cele două capete ale arborelui dopuri cu găuri de centrare, cu care arborele se reazemă în vîrfurile de strung (fig. 7.1.19).

Scanned with OKEN Scanner

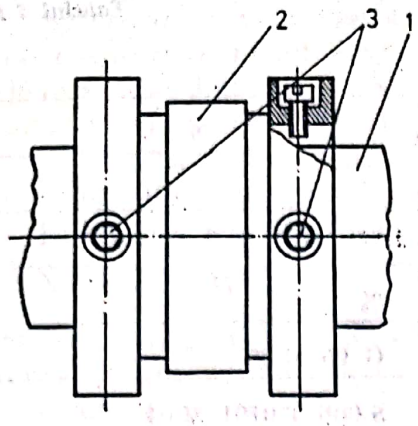


Fig. 7.1.18. Bucşă de centrare a arborilor lungi prevăzută cu şuruburi de reglare.

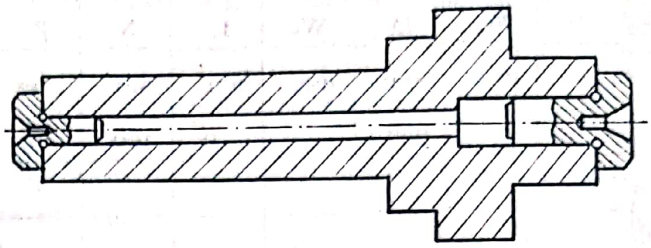


Fig. 7.1.19. Arbore greu cu alezaj şi dopuri cu găuri de centrare.

7.1.1.4. **Strunjirea arborilor pe strunguri cu comandă numerică.** Pentru înţelegerea mai uşoară a modului de întocmire a programului de comandă pentru prelucrarea prin strunjire pe strungul TKX-50N, se ia drept exemplu strunjirea piesei din figura 7.1.20.

În figura 7.1.20 sînt prezentate: originea *OC* a capului revolver în care sînt fixate cuţitele *1* şi *2*, originea *STP* a vîrfului cuţitului *1*, precum şi punctele prin care se deplasează vîrful cuţitelor pentru a prelucra piesa.

Instrucţiunile de comandă exprimate prin adresele corespunzătoare, precum şi valorile coordonatelor vîrfului cuţitelor pentru prelucrarea piesei sînt înscrise în tabelul Program-Piesă (care are forma dată de firma producătoare a strungului TKX-50N), prezentat în tabelul 7.1.2.

Programarea acestui strung este *relativă* spre deosebire de cea a strungului SKJ, care este *absolută*. (În programarea relativă coordonatele succesive ale vîrfului cuţitului indică valoarea cu care el trebuie să se deplaseze pentru realizarea prelucrării, iar programarea *absolută*, coordonatele respective indică unde trebuie să ajungă vîrful sculei).

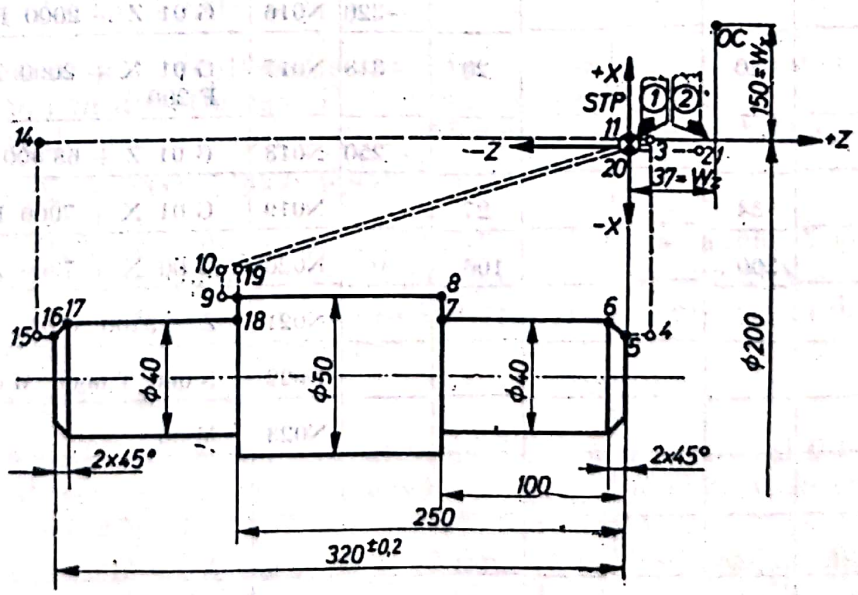


Fig. 7.1.20. Piesa şi traiectoriile sculelor care o prelucrează.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.1.2

Tabel program-piesă

0	1	2	3	4	5	6	7	8
	W_x	D	W_z	L	X	Z	N	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
		200		0	100	0	N000	%
							N001	G 95 M 08
							N002	S 006 T 0101 M 04
						+3	N003	G 00 Z + 300
↓		36			18		N004	G 00 X − 8200
←						0	N005	G 01 Z − 3000 F 200
↖		40			20	−2	N006	G 01 X + 2000 Z − 2000 Z200
←						−100	N007	G 01 Z − 98000 F 300
↑		50			25		N008	G 01 X + 5000 F 200
←						−255	N009	G 01 Z − 155 000 F 300
↑		54			27		N010	G 01 X + 2000 F 500
→		200			100	0	N011	G 00 X + 7300 Z + 25 500
							N012	T 0202 M 04
					100	0	N013	G 00 Z − 3700
←						−322	N014	G 00 Z − 32 200
↓		36			18		N015	G 00 X − 8200
→						−320	N016	G 01 Z + 2000 F 100
↗		40			20	−318	N017	G 01 X + 2000 Z + 2000 F 200
→						−250	N018	G 01 Z + 68 000 F 300
↑		54			27		N019	G 01 X + 7000 F 200
↗		200			100	0	N020	G 00 X + 7300 Z + 25 000
							N021	Z × 3700 M 09
							N022	S 000 T 0000 M 05
							N023	M 30

Scanned with OKEN Scanner

Explicații asupra modului în care se întocmește tabelul Program-Piesă, pentru strunjirea piesei din figura 7.1.20. În fraza N000 se înscrie în coloana 2 valoarea $D = 200$ mm a diametrului fictiv care se poate obține cu vîrful cuțitului aflat în poziția de start, precum și valorile coordonatelor X și Z a acestuia $X = 100$ mm, $Z = 0$ mm. De asemenea se înscrie în coloana 8 adresa % care reprezintă începutul programului.

În fraza 1 sînt înscrise adrésele:

N001 G95 M08

care reprezintă: G95 — dimensiunile în care se exprimă avansul de lucru și anume în mm/rot, iar M08 — pornire-răcire.

Fraza 2 are următorul conținut:

N002 S006 T0101 M04

Adresa S006 reprezintă valoarea turației arborelui principal.

Adresa T — scula; primul grup de două cifre: 01 — numărul sculei, iar cel de al doilea grup: 01 — butonul nr. 1 pentru efectuarea corecției sculei.

M04 — rotirea arborelui principal în sensul rotirii acelor de ceas.

În fraza 3, cifra +3 din coloana 6 reprezintă valoarea în mm a coordonatei Z, respectiv mărimea cu care vîrful cuțitului trebuie să se deplaseze de-a lungul axei Z în sens pozitiv.

În aceeași frază, adresa G00 indică faptul, că programarea mărimii coordonatei respective (X sau Z) se face în sutimi de mm (G01: în mm) $Z + 300$ reprezintă mărimea coordonatei Z în care trebuie să se deplaseze vîrful cuțitului din poziția de start (poziția inițială).

Din punctul *3* cuțitul coboară în punctul *4* situat la distanța de 18 mm de axa Z, pentru a se realiza teșirea de $2 \times 45°$. Față de coordonata inițială $X = 100$ mm, vîrful cuțitului coboară cu $100 - 18 = 82$ mm. Deci, coordonata X la care trebuie să se oprească cuțitul este „X-8200" indicată în fraza:

N004 G00 X-8200

În fraza următoare:

N005 G01 Z-3000 F200

este inclusă comanda de deplasare a cuțitului în punctul *5* din punctul *4* cu o mărime de 3 mm în direcția axei Z, cu avans de lucru F200.

Urmează realizarea teșiturii de $2 \times 45°$ prin comanda inclusă în fraza 6:

N006 G01 X + 2000 Z-2000 F200

Cuțitul se deplasează din punctul *5* în *6* simultan pe axele X și Z pe o distanță de 2 mm și ajunge la distanța egală cu 20 mm de axa Z($X = 20$ mm). La marginea superioară a teșiturii diametrul este de 40 mm egal cu diametrul care trebuie realizat în faza următoare:

N007 G01 Z-98000 F300

În această fază a operației cuțitul se deplasează din punctul *6* în *7* pe o distanță de 100 mm, în direcția negativă de-a lungul axei Z (v. în coloana 0 semnul —), de aceea în coloana 6 se notează: —100 mm.

Valoarea coordonatei Z egală cu —98 mm s-a obținut scăzînd din valoarea precedentă a coordonatei Z (—2), distanța de 100 mm. Deci —2— (—100)= = —98 mm.

Scanned with OKEN Scanner

În faza următoare cuțitul se deplasează de-a lungul axei X din punctul *7* în 8, în direcția radială (v. semnul + din col. 0) pe o distanță de 5 mm

N008 G01 X + 5000 F200

Cuțitul aflîndu-se la distanța de 25 mm de axa Z, în faza care urmează se înscrie comanda de deplasare a cuțitului de-a lungul axei Z din punctul *8* în *9*, realizînd treapta cu diametrul de 50 mm. Punctul *9* este situat la o distanță de 5 mm după suprafața de capăt a treptei prelucrate.

Fraza în care este inclusă comanda pentru realizarea prelucrării acestei trepte are următorul conținut:

N009 G01 Z-155000 F300

În coloana 6 este înscrisă valoarea distanței parcursă de cuțit de 255 mm. Valoarea coordonatei Z s-a obținut, scăzînd din valoarea precedentă a acesteia (—100) valoarea distanței de 255 mm, adică $-100 - (-255) = -155$ mm (exprimată în μm este — 155000).

Din punctul *9* cuțitul se deplasează în punctul *10* situat la o distanță de 2 mm deasupra punctului *9*.

Comanda pentru această deplasare este cuprinsă în fraza 10:

N010 G01 X + 2000 F500

În coloana 0 este indicată direcția deplasării (↑), iar în coloanele 2 și 5 valorile diametrului $D = 54$ mm, respectiv ale coordonatei $X = 27$ mm.

Din punctul *10* cuțitul se retrage în poziția inițială (v. prima linie a tabelului) la $D = 200$ mm și $X = 100$ mm. Comanda pentru această mișcare a cuțitului este cuprinsă în fraza 11:

N011 G00 X + 7300 Z + 25500

Valoarea coordonatei $X + 7300$ s-a obținut prin scăderea coordonatei $X = 27$ mm (v. col. 5) din coordonata $X = 100$ MM.

În poziția inițială a capului revolver are loc schimbarea sculei *1* cu scula2.

Comanda pentru schimbarea sculei cu care are loc prelucrarea treptei din stînga a arborelui este inclusă în fraza 12

N012 T0202 M04

Deoarece vîrful cuțitului *2* este decalat cu 37 mm față de al primului cuțit comandă în fraza următoare anularea acestei decalări prin deplasarea cuțitului 2 cu 37 mm în direcție inversă sensului pozitiv al coordonatei Z

N013 G00 Z-3700 (anulare decalare sculă)

În direcția axei X vîrful cuțitului *2* se află la aceeași valoare a coordonatei X ($X = 100$, v. col. 5).

Din punctul *11* cuțitul se deplasează paralel cu axa Z în sens negativ (←) pînă în punctul *14* pe o distanță egală cu 322 mm (cu 2 mm mai mare decît lungimea totală a arborelui) comanda respectivă este dată în fraza 14

N014 G00 Z-32200

Din punctul *14* cuțitul se deplasează în punctul *15* a cărui coordonată pe axa X este egală cu 18 mm (v. col. 5) pentru a se executa teșirea de $2 \times 45°$ a muchiei (v. fig. 7.1.20). Comanda corespunzătoare este dată în fraza 15

N015 G00 X-8200

Față de punctul inițial în care coordonata vîrfului cuțitului este $X = 100$, acesta trebuie să se deplaseze de-a lungul axei respective în direcție negativă cu mărimea $100 - 18 = 82$ mm. Deci, coordonata vîrfului cuțitului în punctul *15* este $X - 8200$.

În fraza 16:

N016 G01 Z + 2000 F100

este dată comanda ca vîrful cuțitului să se deplaseze din punctul *15* în punctul *16*, pe o distanță de 2 mm, pentru a atinge suprafața frontală a arborelui. Coordonata pe direcția axei Z a punctului *16* este $Z = -320$ mm (v. col. 6) egală cu lungimea totală a arborelui (v. fig. 7.1.20).

Din punctul *16* vîrful cuțitului trebuie să se deplaseze cu 2 mm simultan în direcția axelor X și Z pentru a realiza teșirea. Comanda pentru execuția acestei deplasări este dată în fraza 17:

N017 G01 X + 2000 Z + 2000 F200

În punctul *17* vîrful cuțitului se află pe diametrul $D = 40$ mm, coordonata lui pe axa X fiind egală cu 20 mm, iar pe axa Z: -318 mm (v. col. 5 și 6).

În faza următoare a operației trebuie să se efectueze strunjirea suprafeței exterioare a treptei respective a arborelui. Pentru efectuarea acestei prelucrări în fraza *18* se dă comanda pentru deplasarea vîrfului cuțitului din punctul *17* în punctul *18* situat la distanța de 250 mm de originea sistemului de coordonate (v. col. 6).

Deci, din punctul *17* pînă în punctul *18* vîrful cuțitului trebuie să parcurgă o distanță egală cu: $-318 - (-250) = -68$ mm, cu avansul F 300 (egal cu 0,3 mm/rot)

N018 G01 Z + 68000 F

Pentru prelucrarea suprafeței frontale a treptei respective, vîrful cuțitului trebuie să se deplaseze din punctul *18* în punctul *19* situat cu 2 mm deasupra suprafeței treptei mari. Diametrul fictiv al suprafeței care s-ar putea obține cu vîrful cuțitului în punctul *19* este $D = 54$ mm, coordonata lui pe axa X este egală cu 27 mm (v. col. 2 și 5).

În instrucțiunea de comandă din fraza 19:

N019 G01 X + 7000 F200

valoarea coordonatei X reprezintă diferența dintre coordonata punctului *18* din care s-a deplasat vîrful cuțitului ($X = 20$ mm) pentru a ajunge în punctul *19* (coordonata acestuia fiind $X = 27$ mm).

Prelucrarea suprafeței fiind efectuată cuțitul se retrage cu avans rapid în poziția inițială conform comenzii dată în fraza 20:

N020 G00 X + 7300 Z + 25000

În fraza următoare a programului de comandă se prevede anularea diferenței dintre W_{Z_1} și W_{Z_2} egală cu 37 mm:

N021 Z + 3700 M09

În fraza 22 se comandă anularea turației arborelui principal (prin adresa 5000), anularea corecției prin adresa T000 și STOP program (prin adresa M05)

N022 S000 T000 M05

Scanned with OKEN Scanner

Sfîrșitul programului și întoarcerea benzii este dată prin adresa M30 din ultima frază:

N023 M30

Adresele utilizate în acest program (valabile pentru strungul TKX-50N) sînt:

N000 — 999 reprezintă numărul frazei;
G00 — avans rapid;
G01 — interpolare liniară;
G02 — interpolare circulară în sensul rotirii acelor de ceas;
G03 — interpolare circulară în sensul invers rotirii acelor de ceas;
G33, G34, G35 — filetare;
G94 — avans de lucru, în mm/min;
G95 — avans de lucru, în mm/rot;
G01, G02 și G03 se programează în μm;
G00, G33, G34, G35 se programează în sutimi de mm;
I, K — deplasarea centrului cercului la interpolarea circulară pe X și Z;
F — avans;
S — turație (S0001—S0006).

Funcțiile auxiliare:

M00 — STOP program;
M01 — STOP condițional;
M02 — sfîrșit program;
M04 — rotire arbore principal în sensul de rotație a acelor de ceas;
M05 — STOP;
M08 — pornire — răcire;
M09 — STOP răcire;
M25 — cuplare;
M26 — decuplare;
M30 — sfîrșit program și întoarcerea benzii.

7.1.1.5. **Prelucrarea arborilor prin vibrostrunjire.** Prelucrarea prin așchiere cu vibrații dirijate ale sculei (sau ale piesei), denumită vibroașchiere, prezintă, la prelucrarea prin strunjire, următoarele avantaje față de așchierea fără astfel de vibrații:

1 — fragmentarea așchiilor, care în această formă pot fi foarte ușor evacuate;

2 — micșorarea forței de așchiere, datorită micșorării forței de frecare dintre așchie și fața de degajare a cuțitului și dintre fața de așezare a piesei și suprafața care se prelucrează a piesei;

3 — reducerea consumului de energie electrică consumată pentru efectuarea procesului de așchiere;

4 — reducerea cantității de căldură degajată în zona de așchiere;

5 — îmbunătățirea condițiilor de pătrundere a lichidului de răcire-ungere în zona de așchiere;

6 — creșterea durabilității muchiei așchietoare.

Așchierea cu vibrații forțate poate fi aplicată și la prelucrările prin: burghiere, rabotare, mortezare, broșare și rectificare (superfinisare) prezentînd aceleași avantaje ca și la prelucrarea prin strunjire.

Fragmentarea așchiei se datorește faptului, că în procesul de așchiere are loc variația grosimii așchiei, deoarece cuțitul primește pe lîngă mișcarea de

Scanned with OKEN Scanner

avans longitudinal s_0, în lungul axei x și o mișcare vibratorie, în aceeași direcție, de forma $x = A \sin \omega_1 t$.

Deci, avansul axial în timpul vibroașchierii este o mărime variabilă de forma:

$$s = s_0 + A_x \sin \omega_1 t, \qquad (7.1.7)$$

în care: A_x reprezintă amplitudinea mișcării vibratorii axiale; ω_1 — pulsația vibrațiilor cuțitului.

Urma lăsată pe suprafața piesei (desfășurată) de către muchia aș-chietoare a sculei la o rotație a piesei are aspectul din figura 7.1.21, *a*.

Ținînd seama de notațiile din figura 7.1.21 se poate scrie legătura dintre frecvența vibrațiilor cuțitului și frecvența în rotație a piesei, ca fiind:

$$f_1 = \frac{n}{60}(k + i), \qquad (7.1.8)$$

în care: n reprezintă rotația piesei, în rot/min.

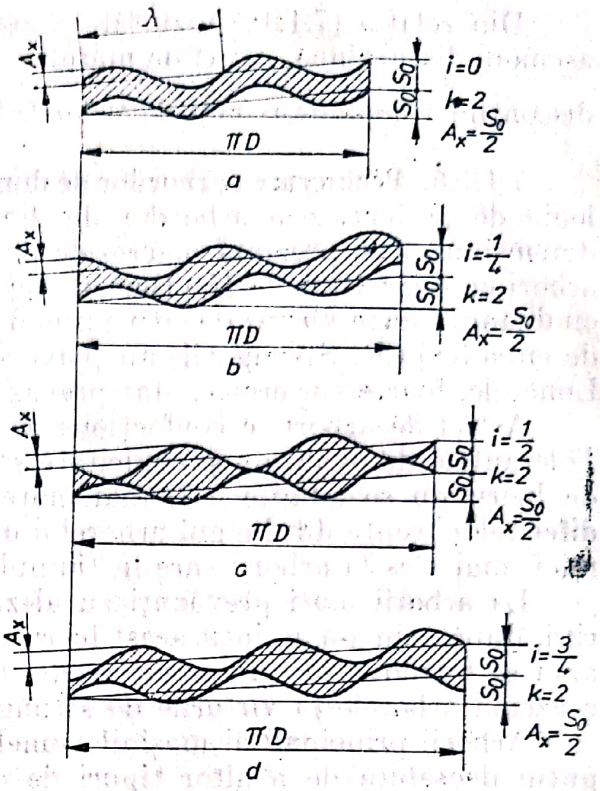


Fig. 7.1.21. Variația secțiunii transversale a aschiei.

Datorită avansului longitudinal variabil al cuțitului în timpul aș-chierii, secțiunea transversală a aschiei variază, avînd aspectul prezentat în figura 7.1.21 *b, c, d.*

În cazul în care între urma lăsată de muchia aș-chietoare a cuțitului la rotația curentă a piesei față de rotația precedentă (defazajul) este egal cu zero, adică $i = 0$, grosimea aschiei este constantă și are forma din figura 7.1.21, *a*. În acest caz, frecvența vibrațiilor axiale ale cuțitului este un multiplu întreg al frecvenței în mișcarea de rotație a piesei.

Fragmentarea perfectă a aschiei se realizează atunci cînd între amplitudinea vibrațiilor axiale A_x și avansul pe rotație s_0 (pentru un anumit defazaj i), se realizează următoarea dependență:

$$A_x = \frac{s_0}{2 \sin \pi i}. \qquad (7.1.9)$$

Pentru ca procesul de aschiere cu vibrații axiale să fie continuu, adică muchia aș-chietoare a cuțitului să se afle tot timpul „în aschie", trebuie ca valoarea amplitudinii vibrațiilor axiale A_x să fie:

$$A_x \leqslant \frac{s_0}{2 \sin \pi i}. \qquad (7.1.10)$$

Procesul de aschiere devine discontinuu atunci cînd:

$$A_x > \frac{s_0}{2 \sin \pi i} \qquad (7.1.11)$$

Scanned with OKEN Scanner

Din relația (7.1.11) rezultă, că atunci cînd $i = 0$ nu se poate realiza o așchiere discontinuă, oricît de mare ar fi amplitudinea A_x, și că vibroașchierea discontinuă depinde numai de valorile lui i și a raportului $\frac{s_0}{A_x}$.

7.1.1.6. **Prelucrarea arborilor de dimensiuni mari.** Spre deosebire de tehnologia de prelucrare a arborilor de dimensiuni obișnuite, cea a arborilor de dimensiuni mari prezintă o serie de particularități. Pentru strunjirea acestor arbori cu o greutate de 150 tone și mai mult se întrebuințează strunguri mari cu distanțe între vîrfuri de cîțiva zeci de metri. Puterea acestor strunguri este de circa 350 CP. Strungurile au cîțiva suporți de o parte și de alta a batiului. Lunetele, foarte puternice, sînt prevăzute cu role.

Astfel de arbori se confecționează după metoda concentrării operațiilor. Toleranțele de ovalitate și conicitate sînt foarte mici. Ovalitatea segmentelor de lucru nu se admite a fi mai mare de 0,01—0,02 mm. Concentricitatea diferitelor trepte din lungul arborelui de asemenea este îngrădită de toleranțe mici, mai ales la arborii care în timpul exploatării au turații mari.

La arborii mari prevăzuți cu alezaj axial, succesiunea fazelor este diferită, după cum s-a amintit acest lucru înainte. La început se execută alezajul, apoi se introduc la cele două capete dopuri cu găuri de centrare cu care se reazemă arborele în vîrfurile de strung.

Arborii principali ai mașinilor-unelte grele au o tehnologie de prelucrare puțin deosebită de a altor tipuri de arbori. În afară de cerințele obținute în ceea ce privește precizia dimensiunilor, la acești arbori este absolut necesar a se realiza coaxialitatea axei găurii conice cu a axei de rotație a arborelui, precum și perpendicularitatea suprafeței de capăt față de axa de rotație a arborelui.

Nerespectarea acestei condiții de coaxialitate (fig. 7.1.22) duce la rebutarea arborelui, dacă gaura conică nu va putea fi mărită pentru o altă dimensiune.

Pentru a se evita rebutarea arborelui din cauza necoaxialității găurii conice cu axa lui de simetrie, se rectifică mai întîi suprafața exterioară a arborelui pe o mașină de rectificat între vîrfuri, apoi se fixează cu unul din capete în universal, iar cu celălalt se reazemă în lunetă. Arborele se centrează cu ajutorul ceasului comparator după suprafața exterioară, după care apoi se strunjește gaura conică. Aceasta din urmă se rectifică cu ajutorul unui aparat de rectificat fixat în locul suportului port-cuțite pe sania superioară a strungului, care se înclină la unghiul respectiv. Avansul de lucru se execută manual.

Făcînd prelucrarea acestor arbori după tehnologia prezentată se poate asigura concentricitatea suprafeței conice interioare cu suprafețele exterioare a fuselor arborelui.

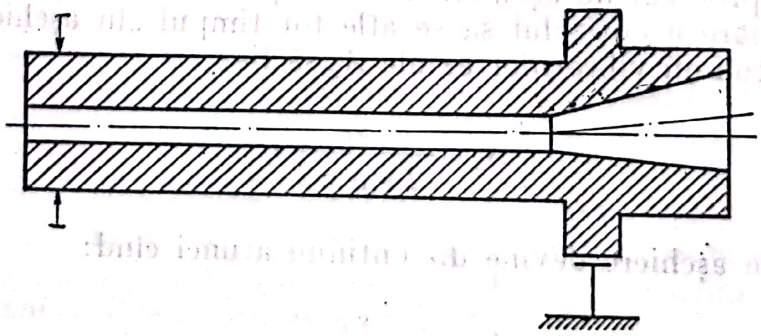


Fig. 7.1.22. Arbore greu cu axa de simetrie a alezajului conic necoaxială cu cea a arborelui.

Scanned with OKEN Scanner

7.1.1.7. Prelucrarea arborilor prin frezare

7.1.1.7.1. *Prelucrarea arborilor prin frezare în stare rece.* Arborii şi în general toate piesele mărginite de suprafeţe de revoluţie se prelucrează prin strunjire.

Productivitatea muncii la prelucrarea prin strunjire a arborilor mari turnaţi, matriţaţi sau forjaţi este îngrădită de o serie de factori dintre care se pot aminti forţele centrifuge mari la viteze de aşchiere mai ridicate, uzura prematură a muchiei aşchietoare a cuţitului din cauza incluziunilor de nisip în stratul superficial al arborilor turnaţi sau din cauza durităţii excesive a stratului superficial al arborilor matriţaţi sau forjaţi liber.

Influenţa acestor factori asupra productivităţii muncii este foarte mult redusă la prelucrarea prin frezare a arborilor amintiţi.

Frezarea suprafeţelor de revoluţie a pieselor de maşini este o metodă de prelucrare relativ nouă. Ea are la bază o schemă cinematică în care atît piesa ce se prelucrează cît şi freza au o mişcare de rotaţie în jurul axei sale cu viteze unghiulare diferite.

Avantajele frezării suprafeţelor de revoluţie în comparaţie cu strunjirea sînt următoarele:

— se măreşte durabilitatea muchiei aşchietoare a sculei;

— se rezolvă foarte simplu problema fragmentării aşchiilor;

— se poate mări viteza de aşchiere la prelucrarea pieselor mari cu adaos neuniform de aşchiere, lucru ce duce la o ridicare a productivităţii muncii. La prelucrarea prin strunjire a acestor piese viteza de aşchiere trebuie să fie mică, pentru a se evita apariţia forţelor dinamice care dau naştere vibraţiilor cu toate dezavantajele legate de acestea;

— strungurile cu turaţii joase precum şi strungurile carusel pot fi foarte uşor, fără investiţii mari, transformate pentru prelucrări rapide prin adaptarea unor capete simple de frezat pe suporturile lor existente.

Avantajele enumerate sînt suficient de convingătoare pentru a recomanda aplicarea largă a acestei metode moderne de prelucrare, mai ales a pieselor mari enumerate mai sus.

Există trei metode de frezare mai des utilizate, şi anume:

a — frezarea cu capete de frezat tubulare;

b — frezarea cu freze cilindrice;

c — frezarea cu capete de frezat frontale.

După *prima metodă* se frezează de obicei arbori scurţi, mai ales pe strunguri revolver (fig. 7.1.23). De asemenea tot după această metodă se frezează diferite cepuri pe corpul unor carcase sau batiuri, după cum se vede în figura 7.1.24.

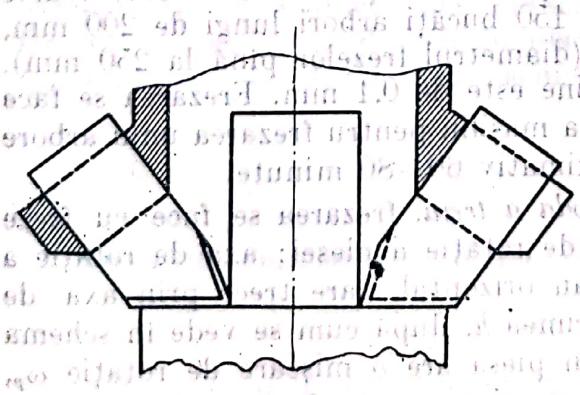


Fig. 7.1.23. Frezarea cu cap de frezat tubular pe strung revolver.

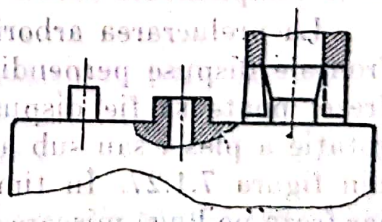


Fig. 7.1.24. Frezarea cu cap de frezat tubular pe maşină de frezat verticală.

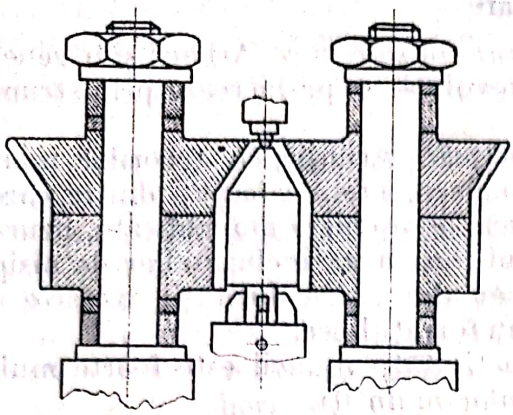


Fig. 7.1.25. Frezarea cu joc de freze egale pe o mașină specială.

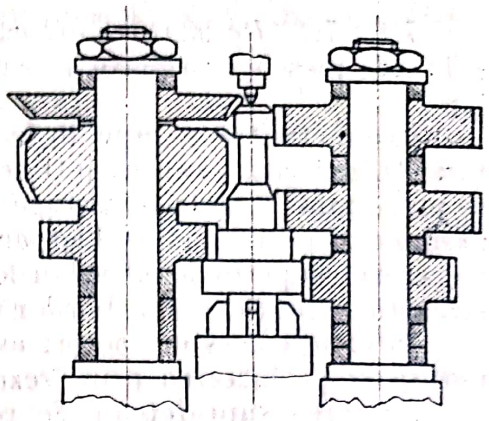


Fig. 7.1.26. Frezarea cu joc de freze diferite pe o mașină specială.

Capetele de frezat tubulare pot fi confecționate din oțel rapid sau cu dinți demontabili din pastile din carburi metalice.

La prelucrarea după *metoda a doua* (frezare cu freze cilindrice) arborele care se frezează se fixează în poziție verticală cu un capăt într-un universal, iar cu celălalt într-un vîrf de strung. Frezele cu care se face prelucrarea se fixează pe două axe diametral opuse cu aceleași sensuri de rotație. Schematic această metodă este reprezentată în figura 7.1.25.

După cum se observă în această figură, jocul de freze de pe ambele axe este la fel. Acest lucru permite ca prelucrarea arborelui să se termine după o rotație a acestuia cu 180°. Pentru a se asigura prelucrarea pe toată suprafața arborelui, acestuia din urmă i se imprimă o rotație cu 5° mai mult, adică 185°.

Dacă jocul de freze de pe cele două axe nu este la fel, adică dacă fiecare freză din completul de freze prelucrează segmente diferite de pe arbore, atunci prelucrarea arborelui are loc după o rotație completă a acestuia sau mai precis după o rotație de 370°.

La formarea jocurilor de freze de pe cele două axe, în cazul reprezentat în figura 7.1.26, trebuie să se aibă în vedere ca încărcarea celor două axe portfreze să fie egală, adică forțele de așchiere de o parte și de alta a arborelui ce se prelucrează să fie egale (să se echilibreze reciproc) pentru a se evita deformația lui în timpul așchierii.

Productivitatea acestei metode de prelucrare prin frezare este foarte mare. Astfel, într-o oră se prelucrează 150 bucăți arbori lungi de 200 mm, viteza de așchiere fiind de 40 m/min (diametrul frezelor pînă la 250 mm). Precizia de prelucrare ce se poate obține este de 0,1 mm. Frezarea se face cu răcire artificială. Timpul de reglare a mașinii pentru frezarea unui arbore de o complexitate medie este de aproximativ 60—80 minute.

La prelucrarea arborilor după *metoda a treia*, frezarea se face cu freze frontale dispuse perpendicular pe axa de rotație a piesei; axa de rotație a frezei poate să fie dispusă într-un plan orizontal, care trece prin axa de rotație a piesei sau sub aceasta cu mărimea h, după cum se vede în schema din figura 7.1.27. În timpul prelucrării piesa are o mișcare de rotație ω_p, iar freza pe lîngă mișcarea de rotație ω_f are și o mișcare de avans longitudinal S_0 în lungul suprafeței piesei care se prelucrează.

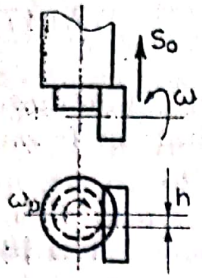


Fig. 7.1.27. Schema de reglaj a frezării suprafețelor de revoluție cu freză cilindro-frontală.

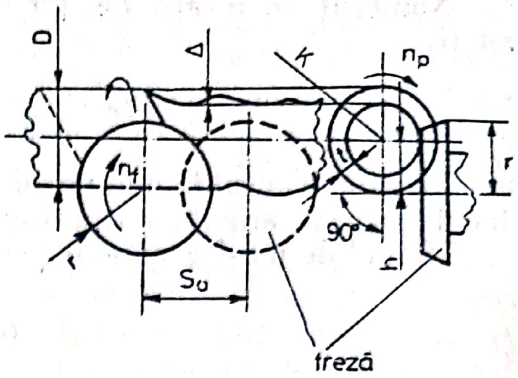


Fig. 7.1.28. Forma generatoarei suprafeței de revoluție și croarea produsă cu freza cilindro-frontală.

Dacă prin piesa care se prelucrează se face o secțiune longitudinală, se vede că (fig. 7.1.28) generatoarea are un profil diferit de al unei linii drepte. Profilul generatoarei este funcție de mărimea h cu care axa frezei este așezată sub axa piesei care se prelucrează. Erorile de formă Δ ale generatoarei se obțin atunci cînd:

$$h > r - \sqrt{t(D-t)}, \tag{7.1.12}$$

unde r este raza frezei, în mm; t — adîncimea de așchiere, în mm; D — diametrul arborelui care se prelucrează, în mm.

Mărimea h și mărimea avansului longitudinal S_0 a frezei, în funcție de valoarea maximă admisibilă a lui Δ, se determină după relațiile:

$$h = \frac{d}{2} - \sqrt{\Delta^2 - 2\Delta(R-t)} \cong \frac{d}{2} - \sqrt{D\Delta} = \frac{d}{2} - \sqrt{\Delta Kt}; \tag{7.1.13}$$

$$S_0 = 2\sqrt{3\frac{d}{2}\sqrt{D\Delta} - 2\Delta D} = 2\sqrt{1{,}5\,d\sqrt{\Delta Kt} - 2\Delta Kt}. \tag{7.1.14}$$

Valoarea coeficientului k în funcție de precizia dată care trebuie realizată în urma acestei prelucrări, prelucrare care poate fi de degroșare, semifinisare sau finisare, variază între 0,005—0,1 μm.

Macroneregularitățile Δ ale generatoarei suprafeței prelucrate pot fi îndepărtate cu ajutorul unor muchii așchietoare ajutătoare frontale ale frezei, care au un unghi mic în plan sau chiar egal cu zero și cu lungimea l_{ma}. Lungimea acestor muchii așchietoare ajutătoare frontale trebuie să fie:

$$l_{ma} \geqslant r - \sqrt{r^2 - \frac{S_0^2}{4}}. \tag{7.1.15}$$

Dacă se ține seama de relația (7.1.14), atunci relația (7.1.15) devine:

$$l_{ma} \geqslant r - \sqrt{r^2 - 3r\sqrt{D\Delta} + 3D\Delta}. \tag{7.1.16}$$

Viteza de așchiere se determină din normative în funcție de materialul piesei și al frezei. Cunoscînd viteza de așchiere se determină numărul de rotații al axului portfreză n_{fr}.

Scanned with OKEN Scanner

Numărul de rotații ale piesei care se prelucrează se determină după relația:

$$n_p = \frac{S_r z n_{fr}}{\sqrt{\pi^2 (D - t)^2 + S_0^2}}, \qquad (7.1.17)$$

unde S_z este avansul în mm pe un dinte al frezei, egal cu 0,15—0,35 mm/dinte cînd freza este armată cu pastile T15K 6; z — numărul de dinți ai frezei.

Timpul de mașină necesar pentru prelucrare a arborelui este:

$$t_0 = \frac{L}{n_p S_0} \qquad (7.1.18)$$

7.1.1.7.2. *Prelucrarea arborilor prin frezare în stare caldă.* Atunci cînd arborii sînt confecționați din semifabricate forjate (liber sau matrițate) din oțeluri înalt aliate, manganoase greu prelucrabile prin așchiere, prelucrarea lor devine foarte comodă dacă se face în stare caldă.

Cu ridicarea temperaturii unui oțel rezistența lui la tracțiune și la forfecare descrește, forțele de așchiere se micșorează și o dată cu acestea se reduce foarte mult acțiunea abrazivă a metalului asupra sculei așchietoare, dacă bineînțeles duritatea acesteia este mai mare decît a materialului care se prelucrează. În diagrama din figura 7.1.29 este reprezentată variația durității în funcție de temperatură a sculelor confecționate din diferite materiale și a unui oțel de construcție.

S-a constatat experimental că la o temperatură prea ridicată coeficientul de frecare dintre sculă și piesa care se prelucrează crește în loc să scadă. Există o valoare optimă a temperaturii, determinată experimental, la care coeficientul de frecare este minim și lipirea sau sudarea așchiei de sculă este exclusă.

La temperaturi prea ridicate ale piesei în afară de fenomenul amintit mai sus, coeficientul de frecare al materialului scade foarte mult și așchierea are loc cu așchii continui, fapt care îngreuiază desfășurarea procesului de așchiere mai ales la prelucrarea prin strunjire. Avantajele create de micșorarea durității piesei în stare caldă sînt depășite de dezavantajele amintite mai sus. Astfel, a apărut ideea prelucrării și a suprafețelor de revoluție a pieselor, respectiv a arborilor în *stare caldă prin frezare* [32], prelucrare care asigură prin cinematica ei fragmentarea așchiilor, evitînd pericolul de încolăcire al acestora pe piesă și sculă și periclitarea securității muncitorului și desfășurarea continuă a procesului de așchiere.

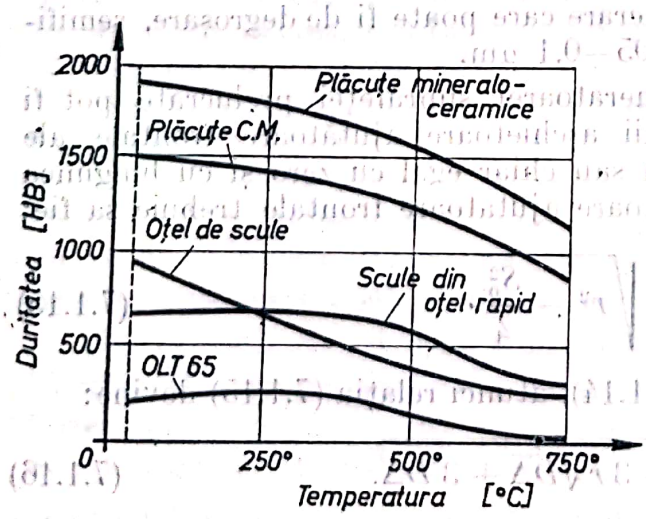


Fig. 7.1.29. Variația durității funcție de temperatură, a sculelor confecționate din diferite materiale.

Prin aplicarea justă a acestei metode moderne la prelucrarea pieselor confecționate din materialele greu prelucrabile în stare rece, se poate obține o durabilitate mărită a tăișului sculelor așchietoare, o creștere a productivității prelucrării prin intensificarea regimului de așchiere și o scădere a costului, mai ales dacă se alege o metodă ieftină de încălzire a semifabricatului pentru prelucrarea prin așchiere.

Ideea prelucrării prin așchiere a pieselor în stare caldă a apărut cu foarte mulți ani în urmă (în anul 1889 americanul *Tilghman* din Philadelphia a obținut brevetul nr. 416873) și a început apoi să se extindă în țările avansate. *Încălzirea* pieselor pentru prelucrarea lor în stare caldă prin așchiere se face în cuptoare cu flacără sau chiar pe mașină cu flacără oxiacetilenică, prin inducție sau CIF etc.

În laboratorul de tehnologia construcțiilor de mașini de la Universitatea din Brașov s-au făcut pentru prima oară în țara noastră experiențe de prelucrare prin strunjire în stare caldă cu cuțite armate cu plăcuțe mineraloceramice indigene ECN-5, *preconizînd ca prelucrarea prin așchiere să se facă imediat după forjare, înainte ca semifabricatul să se răcească, eliminînd în acest fel cheltuielile care trebuie să se facă cu încălzirea semifabricatului.*

Frezarea în stare caldă a arborilor se poate aplica în întreprinderile noastre constructoare de mașini cu cheltuieli de investiții mici, prin modernizarea unui strung (cu uzură morală) așezat în atelierul de forjă în apropierea utilajelor de forjat. Strungul trebuie prevăzut cu un sistem corespunzător de răcire a ansamblelor lui expuse la încălzire prin radiație și cu un mecanism (mînă mecanică) de manevrare a semifabricatului cald.

Metoda prezentată se poate aplica numai pentru prelucrări de degroșare, după care se pot prevedea în procesul tehnologic prelucrări prin rectificare.

7.1.18. **Prelucrarea arborilor prin broșare.** Se cunoaște că, în afară de metodele clasice de prelucrare a suprafețelor interioare de revoluție, a suprafețelor interioare profilate (cu profilul constant în lungul axei de simetrie), precum și a suprafețelor plane, astăzi este foarte larg răspîndită prelucrarea lor prin broșare. Prelucrarea prin broșare este o metodă foarte productivă și asigură în același timp obținerea unei precizii și calități a suprafeței prelucrate ridicate. În afară de aceasta prelucrarea prin broșare se desfășoară într-un ciclu semiautomat, ceea ce permite folosirea muncitorilor cu un grad de calificare mai scăzut.

În ultimul timp prelucrarea prin broșare s-a extins și asupra suprafețelor exterioare de revoluție cu profilul variabil în lungul axei de simetrie, înlocuindu-se prin aceasta strunjirea prin copiere.

La prelucrarea prin broșare a arborilor, întregul adaos de prelucrare se îndepărtează de către un număr de muchii așchietoare ale broșei, ceea ce face ca această metodă de prelucrare să se deosebească foarte mult de prelucrarea cu cuțite profilate tangențiale.

Broșele pentru prelucrarea arborilor profilați pot să fie plane sau spirale, așa după cum se vede schematic în figura 7.1.30.

Tot cu ajutorul unei broșe plane se poate prelucra și un sector circular al unui arbore sau al unei piese oarecare, așa cum este reprezentat schematic în figura 7.1.31. În primul caz, cînd piesa are o mișcare de rotație continuă

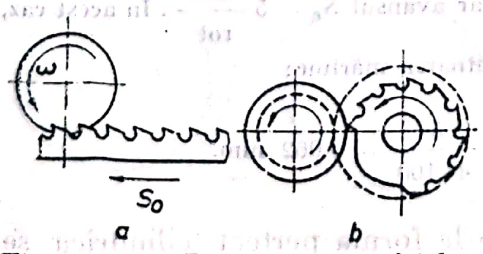


Fig. 7.1.30. Broșarea suprafețelor exterioare ale arborilor cu:
a — broșă plană; *b* — broșă circulară.

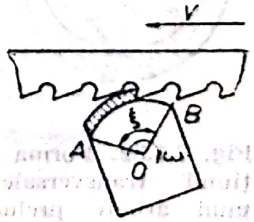


Fig. 7.1.31. Broșarea unui sector circular exterior cu o broșă plană.

în jurul axei sale de simetrie, iar broşa o mişcare rectilinie continuă (fig. 7.1.30,*a*) sau circulară (fig. 7.1.30, *b*), broşarea se numeşte *broşare liberă*.

În al doilea caz cînd piesa nu se roteşte în jurul axei sale de simetrie, ci în jurul centrului sectorului circular care se prelucrează (fig. 7.1.31), iar broşa are o mişcare rectilinie pe tangenta la suprafaţa sectorului circular, broşarea se numeşte *broşare forţată*. La broşarea forţată dinţii broşei nu au suprainălţare. Broşarea liberă se face cu viteze mari de rotaţie ale piesei şi avansuri relativ mici ale broşei. Broşarea forţată se execută cu un regim de aşchiere invers broşării libere.

Cele două feluri de broşări se mai deosebesc între ele şi prin ceea ce priveşte calitatea suprafeţei prelucrate, secţiunea aşchiei degajate, schimbarea unghiurilor de aşchiere în timpul aşchierii etc.

Dacă se face o secţiune transversală printr-un arbore a cărei suprafaţă exterioară a fost prelucrată prin broşare liberă, se vede că circumferinţa secţiunii nu este un cerc perfect. Muchiile aşchietoare ale dinţilor broşei care se mişcă pe tangenta la suprafaţa care se prelucrează, după ce au trecut de punctul cel mai apropiat de axa de simetrie a piesei fără a ieşi însă din aşchie, încep să se îndepărteze de axa de simetrie a piesei, lucru care face ca suprafaţa prelucrată, în secţiunea transversală să aibă forma din figura 7.1.32.

Suprafaţa prelucrată are o eroare de formă, o abatere de la suprafaţa cilindrică egală cu Δ, a cărei valoare (în mm) se determină după relaţia:

$$\Delta = \left(\frac{\pi S_0 r}{2\pi r + S_0}\right)^2 \frac{1}{2r}, \qquad (7.1.19)$$

unde S_0 este avansul broşei la o rotaţie a piesei, în $\frac{\text{mm}}{\text{rot}}$, r — raza părţii din arbore care se broşează, în mm.

Valoarea avansului S_0 luat în comparaţie cu $2\pi r$ (de la numitor) este foarte mică, de aceea se poate neglija S_0 de la numitor fără a se face o eroare mare. În acest caz relaţia de mai sus devine:

$$\Delta = \frac{S_0^2}{4d}, \qquad (7.1.20)$$

unde d este diametrul părţii din arborele care se broşează.

Dacă se analizează această relaţie, se vede că eroarea de forma Δ a suprafeţei broşate creşte cu creşterea avansului broşei la o rotaţie a piesei şi scade cu creşterea diametrului părţii din arbore, care se broşează.

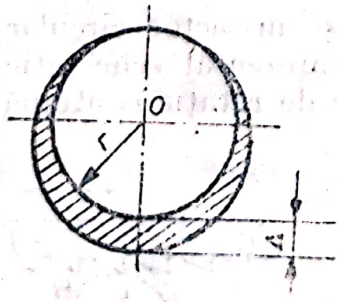


Fig. 7.1.32. Forma secţiunii transversale a unui arbore prelucrat prin broşare exterioară cu o broşă fără dinţi de calibrare.

Pentru a avea o imagine reală despre valoarea acestei erori de formă se ia următorul exemplu numeric:

Fie diametrul părţii din arbore care se prelucrează prin broşare egal cu $D = 100$ mm, iar avansul $S_0 = 5\,\frac{\text{min}}{\text{rot}}$. În acest caz, eroarea de formă Δ are următoarea mărime:

$$\Delta = \frac{S_0^2}{4D} = \frac{5^2}{4 \cdot 100} = 0{,}062 \text{ mm}.$$

Această abatere de la forma perfect cilindrică se poate micşora dacă se prevăd broşei dinţi de calibrare. Aceştia trebuie astfel dispuşi încît traiectoria lor să

Scanned with OKEN Scanner

fie deplasată față de a ultimului dinte care așchiază cu unghiul de $\frac{360}{z_k + 1}$ (z_k este numărul dinților de calibrare).

În acest caz, pe suprafața ce se prelucrează, eroarea de formă este dispusă sub forma unui poligon regulat cu laturi curbe, așa cum se vede acest lucru în figura 7.1.33. Relația cu care se calculează mărimea erorii de formă la prelucrarea cu broșe prevăzute cu dinți de calibrare este următoarea:

$$\Delta = \frac{S_0^2}{4\,D(z_k + 1)^2}, \text{ mm.} \qquad (7.1.21)$$

Dacă în exemplul numeric precedent prevedem că prelucrarea se face cu o broșă prevăzută cu unul și doi dinți de calibrare, atunci se vede că mărimea erorii de formă se reduce foarte mult și anume:

— cînd $z_k = 1$, $\Delta = \frac{S_0^2}{4\,d(Z_k + 1)} = \frac{25}{400\,(1 + 1)} = 0{,}015$ mm;

— cînd $z_k = 2$, $\Delta = \frac{25}{400\,(2 + 1)^2} \cong = 0{,}006$ mm.

Deci, prevăzînd doar doi dinți de calibrare se reduce eroarea de formă de 10 ori față de broșarea cu broșa fără nici un dinte de calibrare.

La broșarea forțată mărimea erorii de formă se determină după relația:

$$\Delta = \frac{t}{4D\left(1 + \frac{S_0}{\pi D}\right)}, \qquad (7.1.22)$$

unde t este pasul dinților broșei.

Din analiza acestei relații se vede, că mărimea erorii de formă scade cu micșorarea pasului dinților broșei și cu mărirea avansului broșei la o rotație a piesei. Micșorarea însă a pasului dinților broșei este îngrădită de spațiul necesar pentru evacuarea așchiilor.

Forma secțiunii transversale a unei piese prelucrată prin broșare forțată este reprezentată în figura 7.1.34, în care se observă că circumferința secțiunii este formată dintr-un număr mare de arce de cerc rezultate din combinarea celor două mișcări: mișcarea piesei și a broșei.

Cu toate că această metodă de prelucrare a suprafețelor de revoluție profilate are o serie întreagă de avantaje față de alte metode de prelucrare,

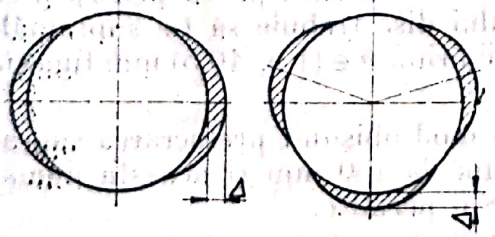


Fig. 7.1.33. Forma secțiunii transversale a unui arbore prelucrat prin broșare exterioară cu o broșă: *a* — cu un dinte de calibrare; *b* — cu doi dinți de calibrare.

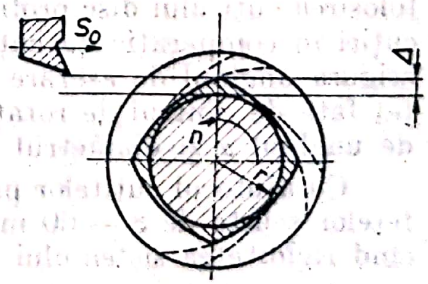


Fig. 7.1.34. Forma secțiunii transversale a unui arbore prelucrat prin broșare forțată.

ea încă nu s-a răspîndit în uzinele constructoare de mașini din țara noastră pentru că pînă acum nu a fost elaborat un calcul teoretic pentru proiectarea și confecționarea broșelor plane și spirale.

Catedra de scule din Institutul de mașini-unelte și scule din Moscova a elaborat teoria dinamicii broșării pe baza căreia se pot proiecta broșe plane și spirale.

La prelucrarea prin broșare a arborilor profilați se obține pe lîngă o calitate superioară a suprafeței prelucrate și o precizie ridicată, precum și o stabilitate a dimensiunilor datorită faptului că durabilitatea sculei este foarte mare.

7.1.1.9. **Prelucrarea suprafețelor profilate ale arborilor.** Folosirea pieselor de revoluție cu suprafețe profilate, cu o răspîndire destul de largă în construcția de mașini, este impusă de cerințe funcționale, de rezistență și de „design", precum și de necesitatea obținerii anumitor mișcări la unele mașini sau mecanisme.

Prelucrarea suprafețelor profilate prin strunjire se poate realiza prin următoarele metode:

1 — prin strunjire manuală pe strunguri normale, profilul fiind verificat după șablon;

2 — prin strunjire cu avans transversal cu cuțite profilate prismatice sau disc;

3 — prin strunjire, utilizînd un sistem de urmărire a profilului șablonului;

4 — prin rulare, cu cuțite profilate rotative;

5 — prin strunjire, utilizînd scheme speciale pentru asigurarea cinematicii adecvate obținerii unui anumit profil;

6. prin strunjire cu cuțite cupă (ciupercă).

7.1.1.9.1. *Prelucrarea suprafețelor profilate prin strunjire manuală.* Strunjirea suprafețelor profilate după metoda manuală constă în combinarea manuală a avansurilor longitudinal s_l și transversal s_{tr}, astfel încît să se ajungă la realizarea profilului dorit pe piesă. Deoarece se impune manevrarea simultană pentru realizarea mărimii avansului s_l și s_{tr} în raportul impus de profilul piesei, rezultă că personalul de execuție trebuie să posede o calificare înaltă și că metoda este neproductivă, în timp ce este imprecisă și costisitoare.

Ca urmare este aplicabilă numai în producția de unicate și eventual în producție de serie mică.

7.1.1.9.2. *Prelucrarea suprafețelor profilate cu cuțite profilate prismatice sau disc.* Fiind aplicată larg în producția de serie mare și masă, impune unghiul de degajare $\gamma = 0$ pentru ca profilul cuțitului să se reproducă pe piesă fără modificări. Dacă numărul pieselor de prelucrat este mare, se recomandă folosirea cuțitului disc profilat, acesta permițînd un număr mai mare de reascuțiri în comparație cu cuțitul prismatic. Se face observația că pentru a se asigura unghiul de așezare α, centrul cuțitului disc trebuie să fie suprainălțat față de centrul de rotație a piesei cu o mărime $h \in (1{,}5,\ 10{,}5)$ mm funcție de unghiul α și diametrul cuțitului-disc.

Cu ajutorul cuțitelor profilate se face în mod obișnuit prelucrarea suprafețelor scurte de 8 — 60 mm și citeodată pînă la 150 mm și aceasta numai cînd rigiditatea sistemului tehnologic MUPS o permite.

Avansul transversal are valori mici, stabilindu-se funcție de lățimea cuțitului l și diametrul de prelucrat d, astfel: pentru degroșare $s_{tr} \in (0{,}01,\ 01)$ mm/rot, cînd $l \in (8{,}60)$ mm și $d \in (10{,}100)$ mm și pentru finisare $s_{tr} \in (0{,}01,\ 0{,}013$ mm/rot, cînd adaosul de prelucrare pentru finisare este $a_b \in (0{,}13,\ 0{,}25)$ mm.

Scanned with OKEN Scanner

Cu toate că viteza de aşchiere este mică ($v \in [25, 50]$ m/min), strungirea cu cuţite profilate este o metodă mai productivă decît profilarea manuală, ceea ce justifică aplicarea ei în producţia de serie mică la prelucrarea prin detalonare a frezelor profilate, cît şi în producţia de serie mare şi masă, la prelucrarea pe strunguri automate cu unul sau mai multe axe.

7.1.1.9.3 *Prelucrarea suprafeţelor profilate prin strunjire cu utilizarea sistemelor de urmărire.* Această prelucrare constituie una din tendinţele de bază în ansamblul măsurilor de ridicare a productivităţii muncii, vizînd reducerea timpului auxiliar prin introducerea mecanizării şi automatizării proceselor tehnologice. Se face menţiunea că timpul auxiliar se micşorează cu 50 .... 80% prin utilizarea sistemelor de urmărire, cunoscute sub denumirea de *dispozitive sau sisteme de copiere.*

Pentru fabricarea pieselor de aceeaşi formă prin strunjire pe strunguri speciale sau pe strunguri normale prevăzute cu dispozitive de copiat se pot folosi sisteme mecanice, hidraulice, pneumatice, electrohidraulice, hidropneumatice, electromecanice, electrice etc., dacă se consideră clasificarea lor după natura energiei dispozitivelor de automatizare.

Considerînd într-un sistem de coordonate rectangulare xoy, şi o curbă plană C_p, în generarea ei punctul M trebuie să o parcurgă cu o viteză v_T tangentă la curbă (fig. 7.1.35).

Deoarece v_T trebuie să fie constant, datorită rugozităţii impuse suprafeţei care se prelucrează unghiul θ dintre v_x şi v_T este continuu variabil, corespunzător poziţiei în care se află punctul M pe curba plană, şi prin urmare şi raportul $\frac{v_y}{v_x} = \operatorname{tg}\theta = \text{const.}$ este continuu variabil.

În această situaţie pentru realizarea raportului variabil între cele două viteze v_x şi v_y, se folosesc lanţurile cinematice de copiere (de reproducere sau de urmărire), care au ca rol reproducerea (copierea) curbei C_s, pe care trebuie să se deplaseze sculă, după curba C_p.

Prin urmare, pentru a-şi îndeplini rolul, lanţul cinematic de copiere trebuie să prezinte o intrare şi o ieşire, şi la capătul de intrare trebuie să existe două elemente, şi anume: curba C_p materializată sau generată într-un mod oarecare şi mecanismul care să poată palpa şi urmări curba C_p.

În linii generale materializarea curbei C_p este denumită *programare*, suportul curbei fiind un *port-program*, iar mecanismul de palpare, de urmărire este denumit *sesizor* sau *palpator*.

Rezultă, că operaţia de copiere constă din realizarea cinematică a traiectoriei generatoare, pe baza unor mărimi de intrare furnizate de un port-program, avînd codificată într-un mod oarecare forma traiectoriei care trebuie realizată. În esenţă, la strunjire operaţia de copiere asigură, folosind şi transformînd sau nu conţinutul programului, transpunerea lui, prin intermediul lanţului de copiere, sub formă de generatoare pe piesă.

Portprogramul de copiere poate fi de construcţii diferite, dintre care cea mai largă utilizare o au: şabloanele, benzile magnetice, benzile sau cartelele perforate.

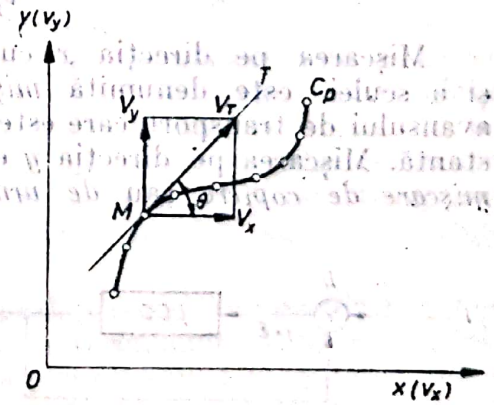


Fig. 7.1.35. Schemă pentru calculul componentelor vitezei v_T tangentă la conturul piesei.

Ca în cazul oricărui lanț cinematic, ecuația de transfer a lanțului de copiere se scrie:

$$e = i_T \cdot i, \tag{7.1.23}$$

în care: e este mărimea de ieșire; i — mărimea de intrare; i_T — raportul de transfer. Mărimea de intrare i în lanțul de copiere este continuu variabil, fiind corespunzătoare programului matematizat de port-program (șablon), indiferent de modul continuu sau discontinuu în care se realizează urmărirea port-programului. Mărimea de ieșire e corespunde legii de mișcare rezultată sub forma traiectoriilor materializate pe piesa prelucrată. Raportul de transfer i_T este constant pentru o reglare dată.

Lanțul cinematic de copiere putînd fi mecanic, hidraulic, electric etc., mediul prin care se transmite mărimea de intrare are o anumită elasticitate, ceea ce contribuie la deformarea mărimii transmise și la întîrzierea ei în timp, astfel că mărimea de ieșire e este mai mult sau mai puțin deformată și întîrziată în timp, în comparație cu mărimea de intrare i. Existența unor diferențe între i și e conduc la apariția erorii (dezacordului) lanțului cinematic definită prin relația:

$$\varepsilon = i - e. \tag{7.1.24}$$

Cu cît rigiditatea lanțului cinematic de copiere este mai mare, de exemplu a lanțurilor cinematice mecanice, cu atît eroarea ε este mai mică.

La sistemele de copiere cu rigiditate redusă, de exemplu hidraulice, în scopul reducerii erorii, se utilizează o legătură de reacție (fig. 7.1.36), prin care se realizează acordul între i și e, care face ca sistemul hidraulic de copiere să fie denumit *sistem hidraulic automat de urmărire* sau mai simplu sistem hidraulic de urmărire. Deoarece în el se folosesc semnale de reacție ale ieșirii, sistemul de copiere se încadrează în grupul sistemelor de reglare automată în circuit închis și poate fi definit ca un *sistem de poziționare continuă și automată a sculelor în raport cu piesa de prelucrat după o lege materializată pe un port-program rigid numit șablon.*

După cum s-a arătat, este necesar ca viteza tangențială v_T de-a lungul conturului să fie constantă ca mărime, condiție cerută de procesul de așchiere și de uniformitatea rugozității impusă suprafeței prelucrate. Deoarece menținerea constantă a vitezei v_T prezintă dificultăți tehnice s-a recurs la o soluție de compromis, menținîndu-se constantă viteza v_x astfel încît rezultă (v. fig. 7.1.35):

$$v_y = v_x \cdot \operatorname{tg} \theta. \tag{7.1.25}$$

Mișcarea pe direcția x cu viteza constantă, a palpatorului și deci și a sculei, este denumită *mișcare de transport* și ea asigură realizarea avansului de transport care este deci un avans continuu cu o viteză v_x constantă. Mișcarea pe direcția y este comandată de șablon și este denumită *mișcare de copiere* sau *de urmărire*, care generează avansul de copiere realizat cu viteza variabilă v_y funcție de unghiul θ.

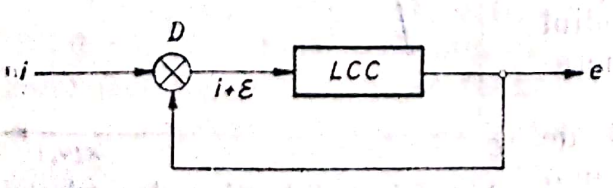


Fig. 7.1.36. Schema principială a legăturii de reacție a sistemelor hidraulice de copiere.

Cînd se lucrează cu un sistem în care se recurge la o singură mișcare de copiere, de exemplu v_y, copierea este după o coordonată, iar cînd se lucrează cu două mișcări de copiere v_x și v_y, copierea este după două coordonate.

Scanned with OKEN Scanner

7.1.1.9.3.1. Copierea mecanică se realizează cu ajutorul dispozitivelor mecanice de copiat, caracterizate printr-o legătură rigidă între palpator (sesizor) și sculă (fig. 7.1.37). Simplitatea și rigiditatea lui ridicată, care asigură o eroare (dezacord) ε mică și deci o precizie ridicată (0,02 m) contribuie la menținerea sa în producția de serie mare și masă, cu toate inconvenientele legate de dificultățile tehnice de confecționare a portprogramului (șablon), a efectului forței de contact palpator-șablon, respectiv a uzurii și a costului ridicat al șablonului.

Legătura rigidă între palpatorul (rolă) *2* și șablonul *1* se realizează cu ajutorul unei contragreutăți *3* fixate pe sania transversală *4* a căruciorului *5*, sania transversală avînd șurubul decuplat. Mișcarea de transport este asigurată de căruciorul strungului prin deplasarea lui cu avans longitudinal s_l, iar mișcarea de copiere este asigurată de sania transversală. Prin urmare, copierea mecanică este o copiere după o coordonată.

Indiferent că presiunea palpatorului pe șablon este asigurată de o contragreutate sau un resort elicoidal, în care caz se lucrează cu un șablon deschis (față de cazul în care contactul palpatorului-rolă cu șablonul se asigură prin deplasarea rolei într-un canal corespunzător profilat, lucrîndu-se deci cu un șablon închis), se impune ca forța dezvoltată de greutate sau resort să fie cel puțin egală, dacă nu mai mare decît componenta F_y a forței de așchiere, fapt care explică uzura pronunțată a șablonului.

În ceea ce privește unghiul θ dintre palpator și șablon domeniul de lucru al acestor dispozitive este în cazurile practice de $\theta = \pm 45°$, unghiurile de urcare și de coborîre pe șablon avînd aceleași limite, de care trebuie să se țină seama la aplicarea acestei metode.

La unghiuri $|\theta| > 45°$, după cum se constată din figura 7.1.37, *b*, viteza v_y devine multiplu a lui v_x, cu tendința de creștere la ∞ cînd $\theta \to 90°$, moment în care se intră în domeniul autoblocării saniei transversale și distrugerii palpatorului. În baza celor prezentate mai sus se trage concluzia imposibilității prelucrării prin copiere mecanică a profilelor cu unghiuri drepte.

7.1.1.9.3.2. Copierea hidraulică se realizează prin utilizarea unui sistem hidraulic de copiere, denumit și sistem hidraulic automat de urmărire, fie că face parte dintr-un strung de copiat, fie că se constituie într-un dispozitiv de copiat după șablon fixat pe un strung normal. Sistemele hidraulice de urmărire (*SHU*) sînt folosite ca mijloc eficace de automatizare sub formă de sisteme de copiere cu șablon rigid, nu numai la prelucrarea unor suprafețe de revoluție complexe, ci și pentru prelucrarea pieselor din clasa arbori în trepte. Este cunoscut, că arborii în trepte se pot prelucra și pe strunguri semiautomate cu mai multe cuțite simultan.

Cu ajutorul *SHU* deci, în mod obișnuit, se prelucrează dintr-o trecere suprafețe cilindrice, frontale și profilate. În acest scop trebuie să se aleagă cuțite capabile să prelucreze o suprafață după alta în mod continuu. Ele pot fi pe dreapta sau pe stînga după poziția *SHU*, în fața strungului sau în spatele lui. Stabilirea geometriei sculei se bazează pe faptul că parametrii geometrici funcționali diferă mult de cei constructivi și, în plus, variază în lungul profilului prelucrat.

Dacă piesa de prelucrat nu prezintă suprafețe conice sau profilate cu micșorarea diametrului în direcția păpușii fixe, se recomandă utilizarea cuțitelor cu $\varkappa = 93 - 95°$ și $\varkappa_1 = 8 - 10°$, iar dacă piesa prezintă micșorarea diametrului în direcția păpușii fixe, $\varkappa = 93°$ și $\varkappa_1 \leqslant 35°$. Uneori forma profilului permite utilizarea cuțitelor normale cu $\varkappa = 70°$ și $\varkappa_1 = 35°$.

Scanned with OKEN Scanner

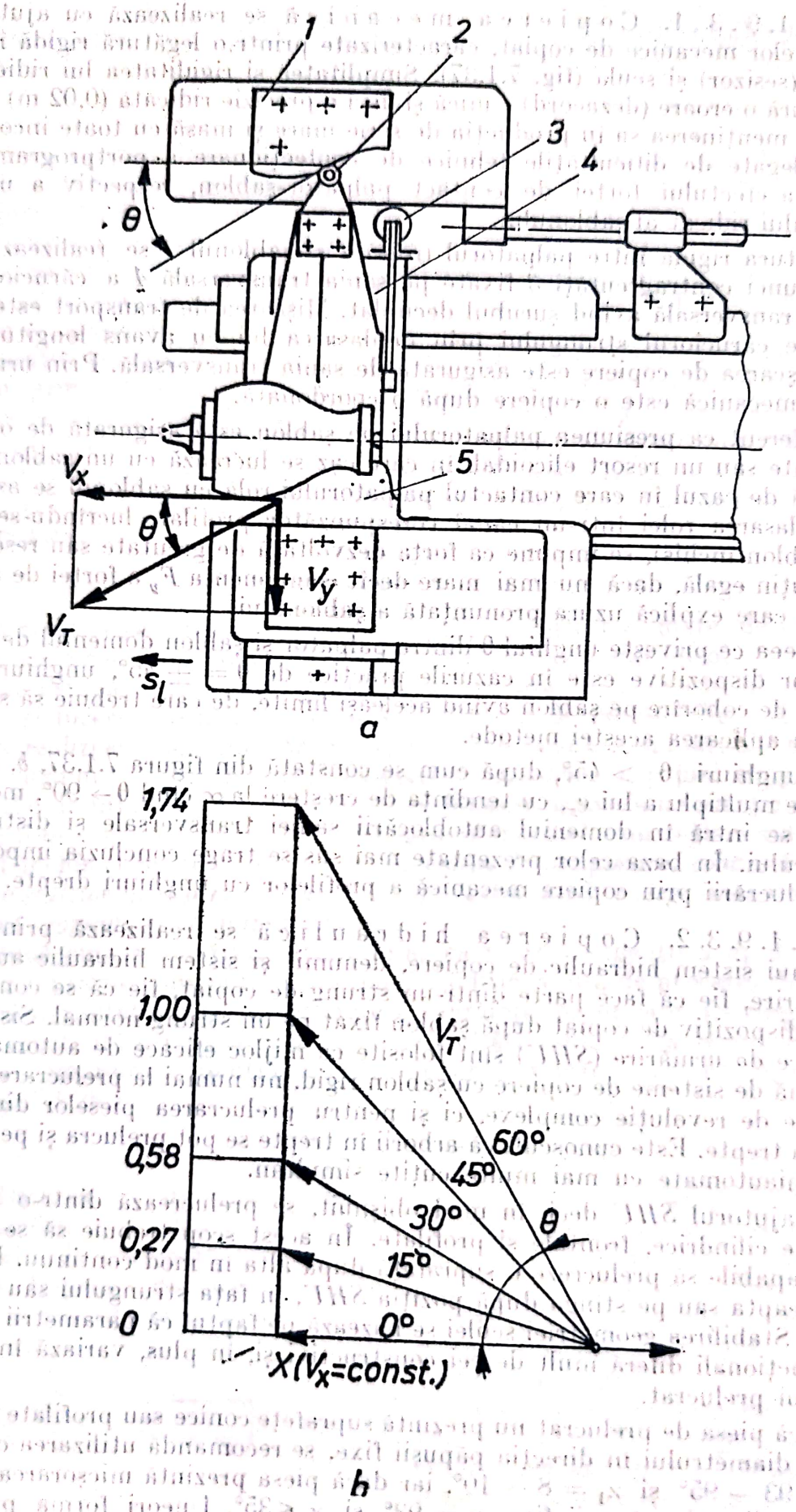


Fig. 7.1.37. Dispozitiv mecanic pentru copierea suprafețelor profilate pe strung.

În cazul în care *SHU* lucrează cu un portprogram sub formă de șablon, după cum se cunoaște la prelucrarea pieselor pe strunguri se utilizează șabloane circulare și plane din OLC45 călit la HRC = 45 — 55 sau din oțel de cementare călit la aceeași duritate. În figura 7.1.38 se prezintă o piesă, șablonul circular și șablonul plan corespunzător.

Suprafețele de lucru ale șablonului se prelucrează cu o rugozitate $R_a \leq 1{,}6$ μm. Toleranțele la diametrele șablonului se micșorează în comparație cu toleranțele la diametrul piesei de 3 — 4 ori, iar pe lungime de 2—3 ori. Fiecare diametru nominal al șablonului circular se determină ca suma algebrică a diametrului nominal al piesei și media aritmetică a abaterilor admise a acestui diametru.

Șabloanele plane se utilizează pentru prelucrarea profilurilor complexe ale pieselor.

Extinderea domeniului de aplicabilitate a *SHU* de la strunguri normale pînă la mașini speciale de copiat este o consecință în primul rînd a rentabilității procedeului. Studiile și analizele tehnico-economice demonstrează o serie de avantaje: mărirea productivității și preciziei de prelucrare cu cheltuieli relativ mici, ușurință deosebită în prelucrarea succesivă a pieselor individuale, de serie sau de masă.

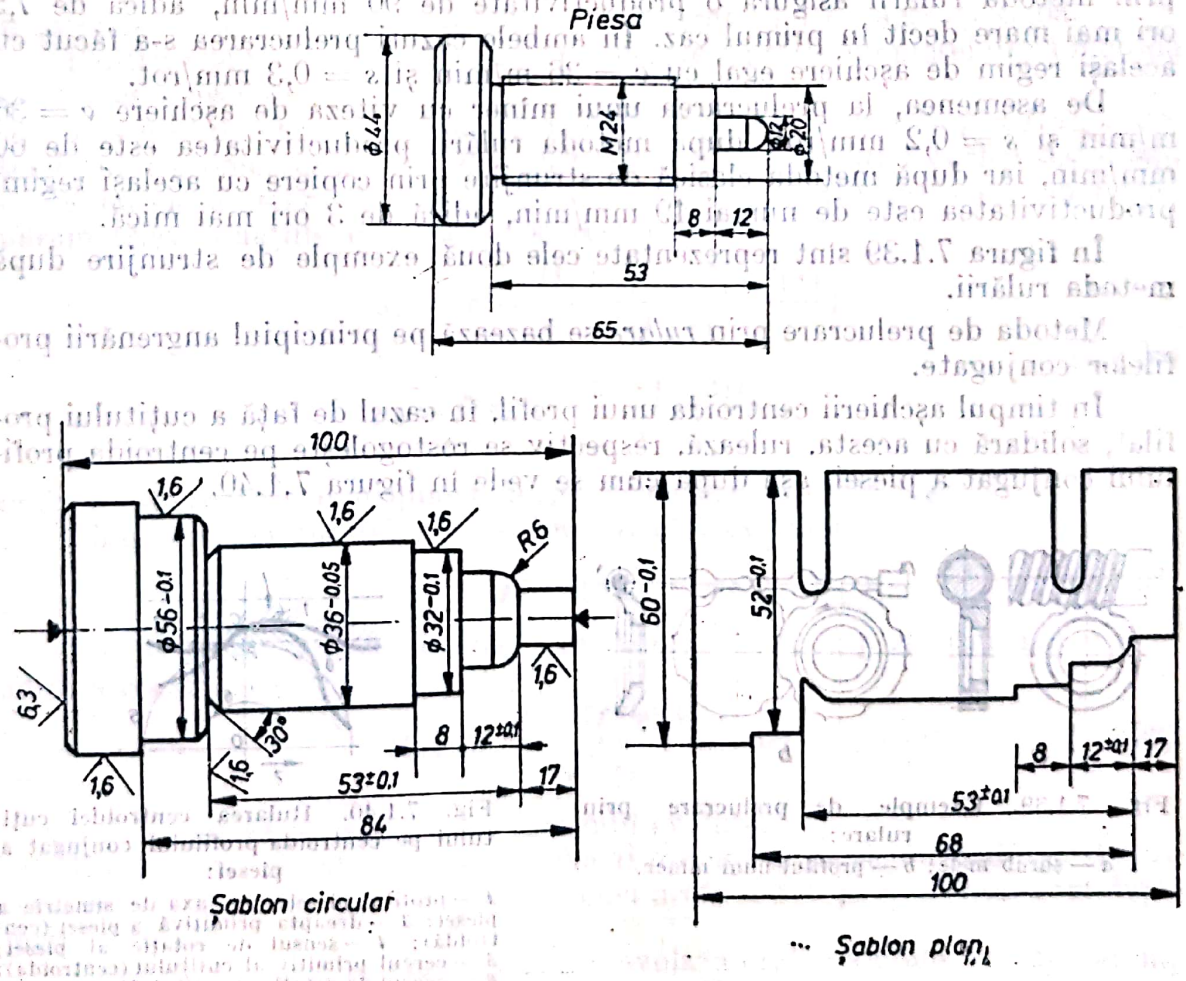


Fig. 7.1.38. Piesa de prelucrat și șabloanele specifice.

7.1.1.9.4. *Prelucrarea suprafeţelor profilate după metoda rulării.* În comparaţie cu strunjirea clasică a suprafeţelor profilate de revoluţie, strunjirea după metoda rulării a acestor suprafeţe prezintă o serie de avantaje, printre care cele mai importante sînt următoarele: productivitate şi precizie de prelucrare ridicată; posibilitatea de a automatiza aproape în întregime procesul de prelucrare; posibilitatea îndepărtării unui strat mare de metal într-o trecere; aşchiere cu mai multe muchii aşchietoare simultan (ceea ce conferă o durabilitate ridicată sculei aşchietoare); posibilitatea de prelucrare a pieselor cu lungimi mari: simplitatea reglării maşinii-unelte; forţă de aşchiere relativ mică; grad scăzut de calificare a muncitorului, deoarece precizia de prelucrare se asigură prin reglarea corectă a maşinii-unelte şi prin precizia sculei cu care se face prelucrarea.

Aplicarea pe scară largă a acestei metode moderne în producţia de serie mare şi masă este frînată pe de o parte de faptul că este foarte puţin cunoscută, iar pe de altă parte pentru faptul că nu se cunosc suficient de bine metodele de calcul şi de proiectare a sculelor aşchietoare, precum şi din lipsa utilajului corespunzător. (Ultima cauză poate fi uşor înlăturată prin proiectarea de dispozitive adaptabile la utilajul existent).

Următoarele date confirmă afirmaţia referitoare la productivitatea metodei.

La executarea prin frezare a filetului unui şurub melc cu diametrul de 37,7 mm şi modulul $m = 2$ mm, cu două începuturi, confecţionat din oţel OL 45, productivitatea este de 12 mm/min. Executarea filetului respectiv prin metoda rulării asigură o productivitate de 90 mm/min, adică de 7,5 ori mai mare decît în primul caz. În ambele cazuri prelucrarea s-a făcut cu acelaşi regim de aşchiere egal cu $v = 36$ m/min şi $s = 0{,}3$ mm/rot.

De asemenea, la prelucrarea unui mîner cu viteza de aşchiere $v = 36$ m/min şi $s = 0{,}2$ mm/rot, după metoda rulării productivitatea este de 60 mm/min, iar după metoda clasică de strunjire prin copiere cu acelaşi regim, productivitatea este de numai 19 mm/min, adică de 3 ori mai mică.

În figura 7.1.39 sînt reprezentate cele două exemple de strunjire după metoda rulării.

Metoda de prelucrare prin *rulare* se bazează pe principiul angrenării profilelor conjugate.

În timpul aşchierii centroida unui profil, în cazul de faţă a cuţitului profilat, solidară cu acesta, rulează, respectiv se rostogoleşte pe centroida profilului conjugat a piesei, aşa după cum se vede în figura 7.1.40.

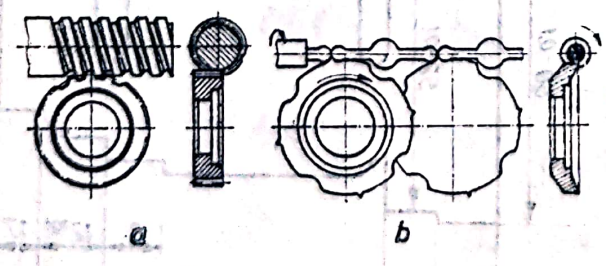


Fig. 7.1.39. Exemple de prelucrare prin rulare:
a — şurub melc; *b* — profilul unui mîner.

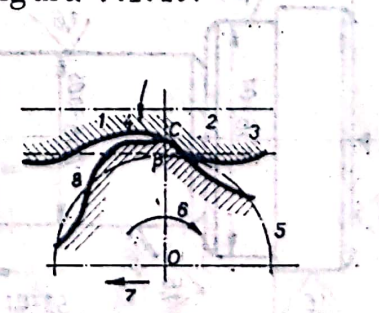


Fig. 7.1.40. Rularea centroidei cuţitului pe centroida profilului conjugat al piesei:
1 — profilul piesei; *2* — axa de simetrie a piesei; *3* — dreapta primitivă a piesei (centroidă); *4* — sensul de rotaţie al piesei; *5* — cercul primitiv al cuţitului (centroida); *6* — sensul de rotaţie al cuţitului; *7* — direcţia avansului longitudinal al sculei; *8* — profilul cuţitului.

Centroida cuțitului de rulat este circulară, iar centroida piesei dreaptă.

Normalele la profilul piesei și sculei duse prin punctul C de contact (fig. 7.1.40) al profilelor conjugate, se suprapun și trec prin punctul P, care este *polul angrenării*. În acest punct P are loc profilarea sau prelucrarea definitivă a părții din profilul piesei corespunzător punctului de contact C a muchiei așchietoare a cuțitului. Rularea centroidei cuțitului pe centroida piesei se realizează prin reglarea cinematică a mașinii-unelte.

Atunci cînd se proiectează scula pentru prelucrarea prin rulare, inginerul trebuie să rezolve următoarele probleme de bază:

1. — studierea posibilității de prelucrare a profilului dat al piesei;

2 — studierea și determinarea poziției optime a centroidei piesei, a dreptei primitive și a mărimii razei cilindrului;

3 — determinarea poziției cuțitului față de piesă; determinarea dimensiunilor de bază ale cuțitului (diametrul cercului primitiv, numărul de dinți, de sectoare ale profilului care se repetă etc.);

4 — determinarea profilului muchiei așchietoare a cuțitului;

5 — alegerea mărimii unghiurilor optime de degajare și de așezare;

6 — determinarea erorii profilului cuțitului și a piesei în urma reascuțirii cuțitului;

7 — determinarea erorii maxime admisibile și a numărului de reascuțiri ale cuțitului.

Piesele care se pot prelucra după metoda rulării au în afară de segmentele cu profilul de bază și segmente cu profile intermediare. La proiectarea sculelor se ține mai întîi seama de profilul de bază al piesei; pentru profilul intermediar se verifică numai posibilitatea prelucrării lui cu aceeași sculă.

Pentru stabilirea posibilității de prelucrare a profilului piesei după metoda rulării, este necesar:

1 — a se determina în funcție de ecuația profilului piesei $y = f(x)$, ecuația locului geometric al centrelor curbelor (ecuația evolutei curbei date) sau coordonatele acestora în funcție de coordonatele profilului piesei; în formă parametrică ecuațiile coordonatelor respective sînt:

$$x_0 = x - \frac{\{1 + [f'(x)]^2\} \cdot f'(x)}{f''(x)};$$
$$y_0 = f(x) + \frac{1 + [f'(x)]^2}{f''(x)}, \tag{7.1.26}$$

unde x este abscisa unui punct de pe curba generatoarei piesei.

Eliminînd parametrul x se obține ecuația evolutei:

$$y_0 = \varphi(x_0); \tag{7.1.27}$$

2 — a rezolva împreună ecuația evolutei ecuația dreptei primitive $y = 0$, adică a rezolva ecuația:

$$f(x) + \frac{1 + [f'(x)]^2}{f''(x)} = 0; \tag{7.1.28}$$

3 — a determina maximul și minimul evolutei.

Dacă rădăcinile ultimei ecuații vor fi minime și pe segmentul dat al evolutei nu vor fi maxime sau minime, atunci profilul dat poate fi prelucrat după metoda rulării.

Dacă rădăcinile sînt reale sau dacă evoluta are maximum sau minimum, atunci segmentul respectiv din profil nu poate fi prelucrat după metoda rulării.

Scanned with OKEN Scanner

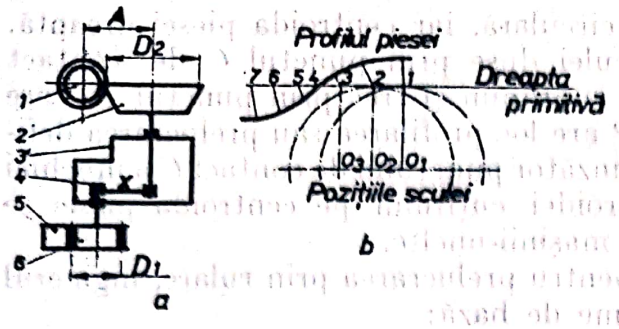


Fig. 7.1.41. Schema strunjirii prin rulare.

În cazul cînd profilul piesei este format din segmente cu profile diferite, va trebui ca fiecare segment să se studieze separat.

La prelucrarea după metoda rulării, poziția dreptei primitive (raza cilindrului primitiv) are o influență mare asupra mărimii curbelor intermediare, asupra formei muchiei aşchietoare a cuțitului și chiar asupra posibilității de prelucrare a profilului piesei.

De aceea, poziția dreptei primitive față de axa de simetrie a piesei sau mai precis față de profilul piesei nu poate fi aleasă la întîmplare, ci ea este îngrădită de anumite condiții dintre care se enumeră următoarele:

— normalele la profil în mod necondiționat trebuie să se intersecteze cu dreapta primitivă;

— normalele la profil trebuie să se intersecteze în ordine succesivă cu dreapta primitivă, fără a se intersecta între ele în intervalul de la profil pînă la dreapta primitivă (fig. 7.1.41, *b*). Dacă normalele nu intersectează succesiv dreapta primitivă, atunci în sectoarele respective nu este posibilă prelucrarea după această metodă.

Pentru realizarea situației arătate este suficient ca pe axul de transmisie a mișcării de rotație a cuțitului (sculei), diametrul cercului primitiv al cuțitului să fie egal cu diametrul cercului primitiv a roții dințate de antrenare.

Atunci cînd, datorită condițiilor de lucru, distanța A se schimbă, este necesar a avea un lanț cinematic care permite a se face reglarea notată cu $x=\frac{D_1}{D_2}$, în care D_1 este diametrul cercului primitiv al roții dințate care angrenează cu cremalierea mașinii (5, din fig. *a*), iar D_2 — diametrul cercului primitiv al cuțitului.

Date în legătură cu proiectarea profilului cuțitului se găsesc în [101].

7.1.1.9.5. *Prelucrarea prin strunjire a suprafețelor conice ale arborilor.* Prelucrarea suprafețelor conice la strung se poate face:

a) cu ajutorul unui cuțit profilat;
b) prin înclinarea saniei superioare;
c) prin deplasarea transversală a păpușii mobile;
d) cu ajutorul linialelor de copiat.

Cu ajutorul unui cuțit profilat se face numai prelucrarea suprafețelor conice scurte.

Prelucrarea suprafețelor conice prin înclinarea saniei superioare este limitată de lungimea cursei saniei respective. Prelucrarea după această metodă este puțin productivă și folosită numai în producția individuală. Mișcarea de avans este manuală.

Prelucrarea suprafețelor conice prin deplasarea transversală a păpușii mobile este foarte des întîlnită atît în producția individuală cît și în producția de serie, mai ales a suprafețelor conice lungi și cu un unghi de înclinație mic. Mișcarea de avans este automată, lucru ce asigură obținerea unei precizii ridicate. Un dezavantaj al acestei metode de prelucrare constă în faptul, că suprafața conică a găurilor de centru se uzează neuniform (la fel

Scanned with OKEN Scanner

ca în cazul cînd axele de simetrie a găurilor de centrare nu sînt axiale), lucru ce provoacă o abatere de la axialitate a diferitelor segmente de suprafețe din lungul arborelui respectiv, mai ales în cazul cînd ele se prelucrează din mai multe reglări sau operații.

Pentru a se evita într-o mare măsură acest dezavantaj, se recomandă ca după această metodă să se prelucreze numai piesele cu suprafețe conice lungi cu unghiuri mici de înclinație (pînă la maximum 10°).

Prelucrarea suprafețelor conice cu ajutorul linialelor de copiat este o metodă mult mai desăvîrșită. Este metoda cea mai răspîndită în producția de serie mare și masă.

Principiul de lucru la această metodă se consideră cunoscut și de la cursul de *Mașini-unelte și linii automate*, de aceea în cele ce urmează se analizează numai precizia de prelucrare.

Precizia de prelucrare a suprafețelor conice după această metodă (precizia geometrică) este funcție de abaterea vîrfului cuțitului cu care se face prelucrarea, de la linia centrelor. În cazul cînd vîrful cuțitului este așezat deasupra sau dedesubtul liniei centrelor, în urma prelucrării nu se mai obține o suprafață conică ci una hiperboloidă.

Presupunem că unghiul conului față de axa de rotație a piesei este β, iar vîrful cuțitului față de linia centrelor este așezat mai jos cu Δh, așa după cum se vede în figura 7.1.42.

După cum reiese din figură,

$$\Delta h^2 + r_k^2 = r^2, \qquad (7.1.29)$$

iar

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{r_k}{y}. \qquad (7.1.30)$$

Dacă se introduce valoarea lui r_k din (7.1.30) în (7.1.29), se obține:

$$\Delta h^2 + y^2 \operatorname{tg}^2 \beta = r^2, \text{ de unde}$$

$$r^2 - y^2 \operatorname{tg}^2 \beta = \Delta h^2$$

sau

$$\frac{r^2}{\Delta h^2} - \frac{y^2}{\Delta h^2 \operatorname{ctg}^2 \beta} = 1. \qquad (7.1.31)$$

Ecuația obținută reprezintă ecuația hiperbolei cu axele Δh și Δh ctg β.

La o abatere a vîrfului cuțitului în planul vertical cu Δh în secțiunea care se găsește la distanța y_1 de la vîrful conului, eroarea de prelucrare pe rază este $\Delta r = r - r_k$ sau

$$\Delta r = \sqrt{\Delta h^2 + y^2 \operatorname{tg}^2 \beta} - y \operatorname{tg} \beta. \qquad (7.1.32)$$

Această eroare poate fi micșorată deplasînd cuțitul înainte cu Δr (curba punctată din fig. 7.1.42).

Într-o serie de cazuri la strunjirea suprafețelor conice este foarte important ca generatoarea conului,

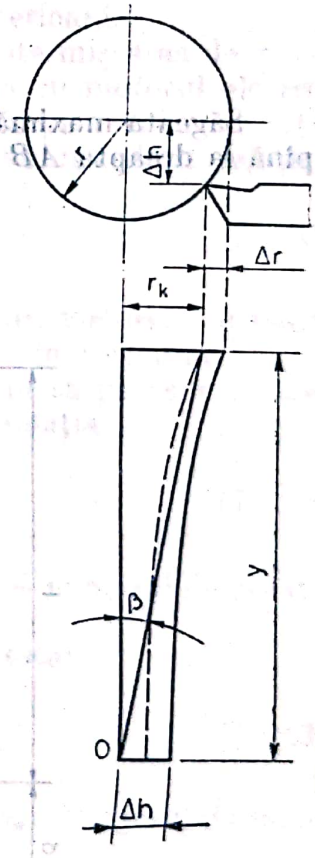


Fig. 7.1.42. Schema pentru calculul influenței erorii de fixare a cuțitului asupra preciziei de prelucrare.

să fie *dreaptă*. Abaterea de la linia dreaptă a generatoarei, caracterizată prin săgeata convexității (fig. 7.1.43) se poate determina în modul prezentat în continuare.

Se știe că ecuația hiperbolei (sub forma generală) este:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Ecuația dreptei care trece prin punctele A și B este:

$$y = cx + d \tag{7.1.33}$$

Se duce hiperbolei o tangentă paralelă cu dreapta AB. Unghiul de înclinație al acestei tangente este:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{b^2}{a^2}\frac{x}{y} = c \tag{7.1.34}$$

Rezolvînd această ecuație împreună cu ecuația hiperbolei se află coordonatele punctului N de tangență:

$$x_0 = \frac{ca^2}{\sqrt{c^2a^2 - b^2}}; \tag{7.1.35}$$

$$y_0 = \frac{b^2}{\sqrt{c^2a^2 - b^2}}. \tag{7.1.36}$$

Săgeata maximă n a convexității este egală cu distanța de la punctul N pînă la dreapta AB și se determină cu relația:

$$n = \frac{\sqrt{c^2a^2 - b^2} - d}{\sqrt{c^2 + 1}}. \tag{7.1.37}$$

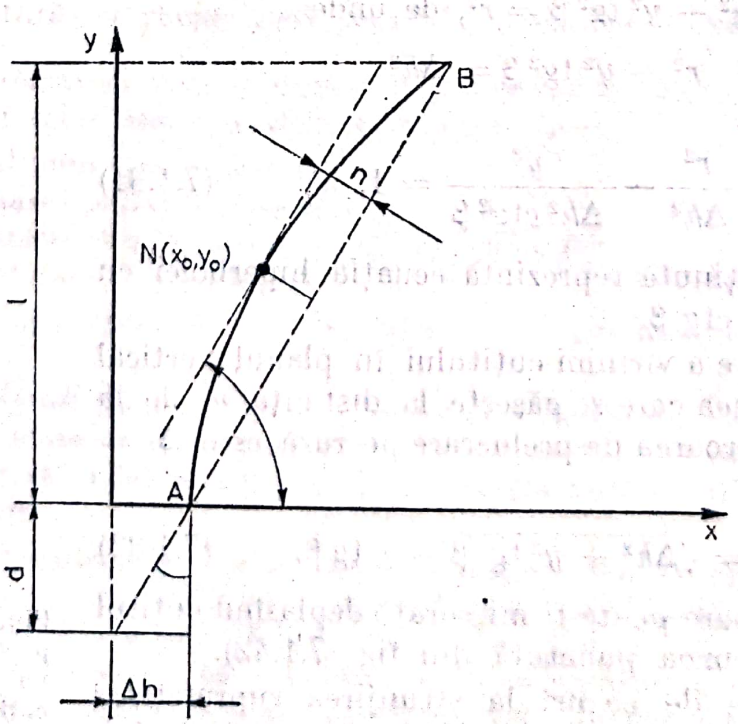


Figura 7.1.43. Abaterea de la liniaritate a generatoarei conului.

În cazul studiat semiaxele hiperbolei sînt Δh și Δh cotg β, iar coeficientul unghiular:

$$c = \frac{l}{r - \Delta h}. \tag{7.1.38}$$

Rezultă:

$$d = \frac{\Delta h l}{r - \Delta h}. \tag{7.1.39}$$

Cunoscînd exigențele impuse piesei ce se prelucrează în ceea ce privește rectilinitatea generatoarei conului, se poate stabili eroarea admisibilă la fixarea cuțitului la înălțime.

7.1.1.10. **Prelucrarea filetului exterior.** Această prelucrare se face prin metoda „în vîrtej", prin frezare, prin strunjire cu cuțite profilate, prin rectificare, strunjire cu linial de corecție pentru filete de înaltă precizie, prin rulare cu două role de diametre diferite.

7.1.1.10.1. *Prelucrarea de degroșare a filetului exterior prin metoda „în vîrtej"*. Executarea filetului „în vîrtej" este o metodă rapidă de așchiere similară cu așchierea cu freze disc profilate armate cu dinți din carburi metalice. După această metodă filetele exterioare se pot executa după schemele din figura 7.1.44 cu cercul pe care sînt dispuse vîrfurile cuțitelor tangent (la exterior, *a* și la interior, *b*) la cercul de fund al filetului. În continuare numim aceste două cazuri — după tangența exterioară și tangența interioară.

Cuțitele se fixează într-un cap de filetat care primește mișcarea de rotație de la un motor electric. Întreg dispozitivul împreună cu motorul electric este fixat pe sania transversală a strungului. Viteza de rotație a vîrfurilor cuțitelor este aproape egală cu viteza de așchiere și se determină după relația:

$$v_c = \frac{\pi d_{vc} n_c}{1\,000}, \tag{7.1.40}$$

în care d_{vc} este diametrul circumferinței pe care sînt dispuse vîrfurile cuțitelor, în mm; n_c — numărul de rotații ale capului de filetat, în rot/ min.

Mișcarea de avans circular este efectuată de către piesa pe care se execută filetul. Viteza acestui avans se determină după relația:

$$v_p = \frac{\pi d_e n_p}{1\,000}, \tag{7.1.41}$$

în care d_e este diametrul exterior al filetului, în mm; n_p — numărul de rotații al piesei, în rot/min.

Avansul circular pe un dinte al capului de filetat este:

$$S_z = \frac{\pi d_e n_p}{n_c z_c \cos \beta_0}, \tag{7.1.42}$$

în care z_c este numărul de cuțite ale capului de filetat; β_0 — unghiul de înclinație al spirei filetului pe diametrul exterior.

Procesul de așchiere la executarea filetului după această metodă are loc cu întreruperi.

După cum se vede în figura 7.1.45, la așchierea cu tangența exterioară a cercurilor, cuțitul intră în așchie în punctul *D* și așchiază pe toată lungimea

Scanned with OKEN Scanner

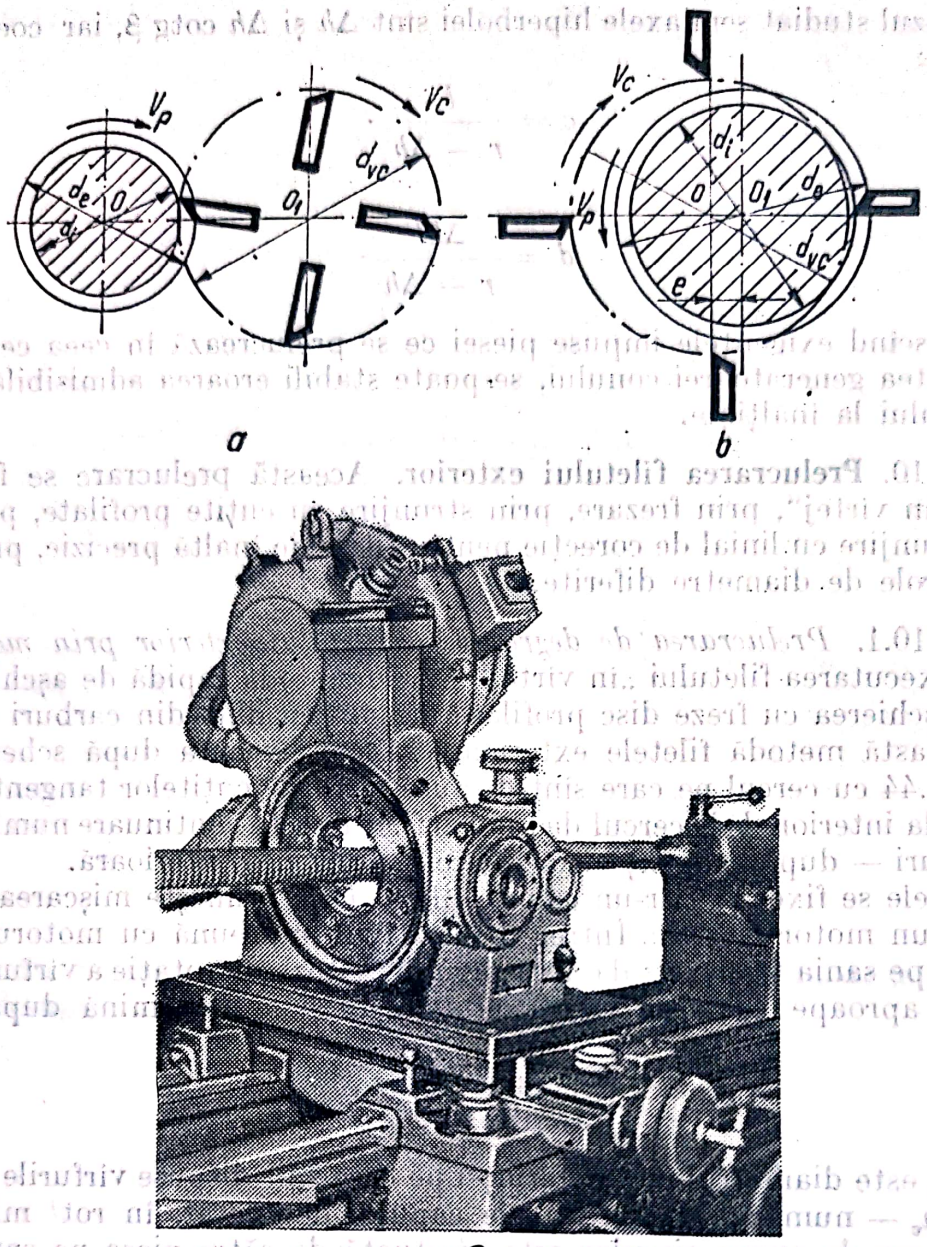


Fig. 7.1.44. Schema filetării în vîrtej după tangentă.

arcului *DB*. Pînă la reintrarea în așchie cuțitul respectiv se răcește. În timp ce un cuțit al capului de filetat se rotește cu 360°, piesa se rotește cu unghiul φ.

Mărimea acestui unghi se determină cu relația:

$$\varphi = \frac{360\, n_p}{n_c z_c} \tag{7.1.43}$$

sau

$$\varphi = \frac{360\, S_z \cos \beta_0}{\pi d_e}. \tag{7.1.44}$$

Suprafața prelucrată după această metodă „în vîrtej" are denivelări atît pe fundul filetului cît și pe suprafețele laterale. Înălțimea denivelărilor la fundul filetului (notată cu h_a și h'_a pentru filetarea cu cap de filetat cu

tangenţa exterioară, respectiv interioară) este tocmai diferenţa dintre lungimile segmentelor OD şi OE din figura 7.1.45 şi se determină după relaţiile:

$$h_d = \left(e\cos\frac{\varphi}{2} - r_1\right) - \sqrt{r_c^2 - e^2\sin^2\frac{\varphi}{2}}, \qquad (7.1.45)$$

iar

$$h'_d = \sqrt{r_c^2 - e^2\sin^2\frac{\varphi}{2}} - \left(e\cos\frac{\varphi}{2} + r_1\right). \qquad (7.1.46)$$

Înălţimea denivelărilor de pe suprafeţele laterale ale filetului, notată cu h_{dl} (la filetarea cu tangenţa exterioară) se determină cu relaţia:

$$h_{dl} = h_\alpha \sin\frac{\alpha_p}{2}, \qquad (7.1.47)$$

în care α_p este unghiul profilului filetului.

Din punct de vedere al productivităţii este mai raţional să se facă prelucrarea cu cuţite cu profilul complet. În acest caz, timpul de bază de maşină se determină după relaţia:

$$\tau_{bm} = \frac{l_1 + l + l_2}{n_p s} = \frac{L}{n_p s}, \text{ [min]}, \qquad (7.1.48)$$

în care l_1 şi l_2 reprezintă lungimea pe care cuţitele nu aşchiază înainte şi după depăşirea lungimii l a suprafeţei pe care se execută filetul; L — lungimea totală parcursă de capul de filetat.

Dacă în relaţia (7.1.48) se introduce n_p din expresia (7.1.42), se obţine:

$$\tau_{bm} = \frac{\pi d L}{s_z z n_c \cos\beta_0}. \qquad (7.1.49)$$

Din relaţia obţinută se vede că productivitatea prelucrării cu cuţite cu profil complet este funcţie directă de diametrul piesei pe care se execută filetul, de lungimea parcursă de capul de filetat şi invers proporţională cu avansul circular pe un cuţit, cu numărul cuţitelor, cu pasul filetului şi cu numărul de rotaţii al capului de filetat.

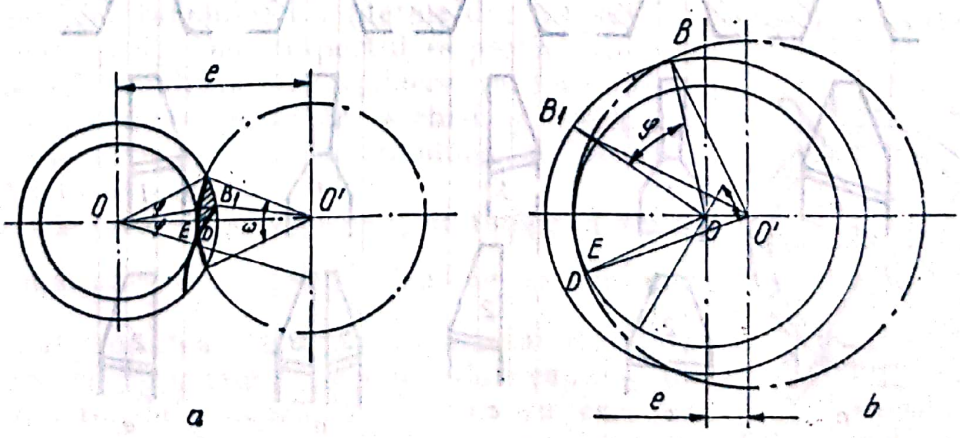


Fig. 7.1.45. Traiectoria în aşchie a unui cuţit la filetarea după tangenţă:
a — exterioară; *b* — interioară.

La prelucrarea cu cuțite cu profilul divizat, golul dintre spirele filetului se realizează cu cîteva cuțite care fiecare așchiază o parte din profilul respectiv, după cum se vede în figura 7.1.46. În figura respectivă sînt prezentate 5 scheme după care se poate realiza profilul unui filet trapezoidal.

Problema alegerii cuțitelor cu profil complet sau incomplet și a schemei de divizare a profilului are o importanță practică deosebită.

La așchierea cu cuțite cu profilul complet iau parte simultan toate muchiile așchietoare ale cuțitului, lucru care conduce la o variație bruscă a sarcinii pe cuțit și la apariția „loviturilor". Acest lucru este foarte pronunțat la așchierea filetelor trapezoidale cu pasul mare. De aceea în aceste cazuri trebuie să se micșoreze avansul circular. Grosimea așchiilor prelevate de muchiile așchietoare laterale ale unui cuțit este cu mult mai mică decît a celor prelevate de muchia lată paralelă cu axa de rotație a piesei. La așchierea cu avansuri circulare mici această grosime devine atît de mică încît nu mai poate avea loc o așchiere normală, ci numai o răzuire și muchiile așchietoare laterale ale cuțitului se uzează foarte intens. Din această cauză așchierea filetelor trapezoidale cu pas mare și a șuruburilor melc trebuie să se facă cu cuțite cu profilul incomplet.

La alegerea schemelor de divizare a profilului cuțitelor trebuie să se țină seama de faptul că cele mai solicitate dintre muchiile așchietoare sînt cele care așchiază suprafața de fund a filetului (paralela cu axa de rotație a piesei), deoarece ele prelevează cea mai mare cantitate de metal și sînt mult mai scurte decît cele laterale. La așchierea filetelor trapezoidale cu pasul mare și a șuruburilor melc, uzura cea mai mare a muchiilor așchietoare se produce pe fața de așezare a muchiilor care așchiază suprafața de fund a filetului. De aceea, mărimea avansului circular se determină din condițiile care asigură durabilitatea cea mai mare a muchiilor așchietoare amintite. Reiese deci că este necesar ca toate cuțitele din complet să aibă o muchie care așchiază suprafața de fund a filetului.

De asemenea este rațional ca suma lungimilor celor două muchii așchietoare ale fiecărui cuțit să fie egală la toate cuțitele din complet, pentru ca solicitarea lor să fie egală și procesul de așchiere să se desfășoare mai liniștit. Această condiție este îndeplinită de schema din figura 7.1.46, *e*.

La filetarea „în vîrtej" capul de filetat trebuie să fie înclinat față de axa de rotație a piesei cu un unghi bine determinat, în scopul de a se crea

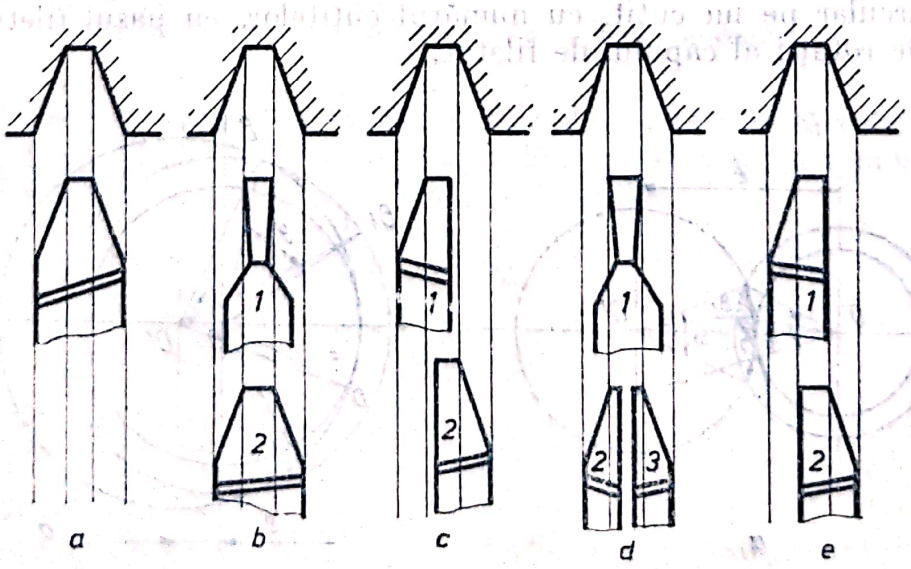


Fig. 7.1.46. Filetarea după diverse scheme de divizare a profilului golului dintre două spire.

Scanned with OKEN Scanner

condiții egale de așchiere ambelor muchii așchietoare laterale și pentru a evita „ciupirea" suprafețelor flancurilor filetului. Influența unghiului de înclinație al capului de filetat crește cu creșterea raportului dintre pasul filetului S și diametrul mediu al filetului. La rapoarte mari ale acestor mărimi, succesul filetării „în vîrtej" după schema de filetare cu tangența interioară este funcție într-o măsură foarte mare de alegerea corectă a acestui unghi.

Experiența practică arată că unghiul de înclinație al capului de filetat influențează asupra procesului de așchiere, asupra uzurii cuțitelor și a calității filetului.

Pînă acum s-a răspîndit părerea că și la filetarea „în vîrtej," capul de filetat trebuie înclinat cu același unghi ca și capul de frezat la filetarea prin frezare cu freză disc profilată, adică cu unghiul:

$$\theta = \operatorname{arc\,tg}\frac{s}{\pi d_m}, \qquad (7.1.50)$$

unde d_m este diametrul mediu al filetului.

Valoarea optimă însă a unghiului de înclinare a capului de filetat la filetarea „în vîrtej", atît după schema de filetare cu tangenta exterioară, cît și interioară, trebuie să se determine după [22].

La filetarea după schema „cu tangență interioară", un factor important de care tehnologul trebuie să țină seama este raportul dintre diametrul cercului pe care sînt dispuse vîrfurile cuțitelor d_{vc} și diametrul exterior al filetului d_e, adică $\frac{d_{vc}}{d_e}$. Mărimea acestui raport influențează asupra parametrilor așchiei, rugozității suprafeței, procesului de formare a așchiilor, uzurii și durabilității tăișului cuțitelor, forței de așchiere, șocurilor și vibrațiilor. De aceea, determinarea valorii optime a acestui factor este deosebit de importantă (fig. 7.1.47).

În tabelul 7.1.3 se dau valorile minime ale raportului $\frac{d_{vc}}{d_e}$ necesare pentru a se asigura retragerea capului de filetat în poziția inițială de lucru fără dereglare.

Pentru îmbunătățirea condițiilor de așchiere, se recomandă ca la construirea capului de filetat să se ia un raport mai mare față de cel reieșit din calcul sau din tabelul 7.1.3 (datele din tabelul 7.1.3 sînt prevăzute pentru capete cu $z = 4$). Dacă raportul respectiv este mai mare de 1,5 condițiile de așchiere se înrăutățesc (crește foarte mult grosimea așchiei și așchierea are loc cu șocuri), ceea ce conduce la scăderea productivității prelucrării.

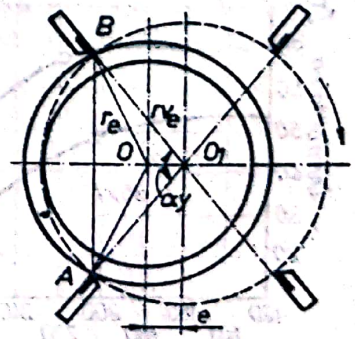


Fig. 7.1.47. Schemă pentru determinarea mărimii optime a raportului d_{vc}/d_e.

La filetarea după schema „cu tangență exterioară" mărimea raportului $\frac{d_{vc}}{d_e}$ trebuie să fie mai mică decît unitatea. Mărimea raportului rezultată din alegerea rațională a diametrului capului de filetat funcție de numărul de cuțite cu care se prevede a se face filetarea.

Viteza de așchiere cu care se face filetarea, după cum se vede din relația (7.1.49), între n_c și ρ

fiind o dependență directă, influențează într-o mare măsură productivitatea prelucrării, respectiv timpul de bază de mașină.

Tabelul 7.1.3

Valorile minime ale raportului $d_{vc\ min}/d_e$

Filetul care se execută	Pasul filetului, în mm											
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24
	$d_{vc\ min}/d_e$											
Filet metric cu pas mare	1,29	1,27	1,25	1,23	1,18	1,15	—	—	—	—	—	—
Filet trapezoidal		1,32	1,37	1,33	1,33	1,31	1,39	1,37	1,34	1,34	1,32	1,29

La filetarea după schema „cu tangență exterioară", viteza economică de așchiere este mai mare și anume de 280—300 m/min. Acest lucru se explică prin aceea că în acest caz lungimea arcului de contact al cuțitului cu piesa este de cîteva ori mai mică decît la filetarea după schema „cu tangență interioară", deci cuțitul așchiază mai puțin timp, se răcește mai bine, ceea ce face ca și uzura lui să fie mai mică (fig. 7.1.48)

Timpul de bază de mașină la filetarea pe strunguri cu un singur cuțit, precum și cu cap de filetat „în vîrtej" se determină după relația:

$$\tau_{bm} = \frac{L}{n_p s} i, \qquad (7.1.51)$$

unde i este numărul de treceri. La filetarea rapidă cu cap de filetat numărul de treceri, $i = 1$.

Dacă în relația de bază (7.1.51) se introduce expresia numărului de rotații n_p a piesei exprimat în funcție de avansul circular pe un cuțit, adică:

$$n_p = \frac{s_z n_c z}{\pi d}, \qquad (7.1.52)$$

precum și expresia numărului de rotații al capului de filetat n_c:

$$n_c = \frac{1\,000\,v}{\pi d_{vc}}, \qquad (7.1.53)$$

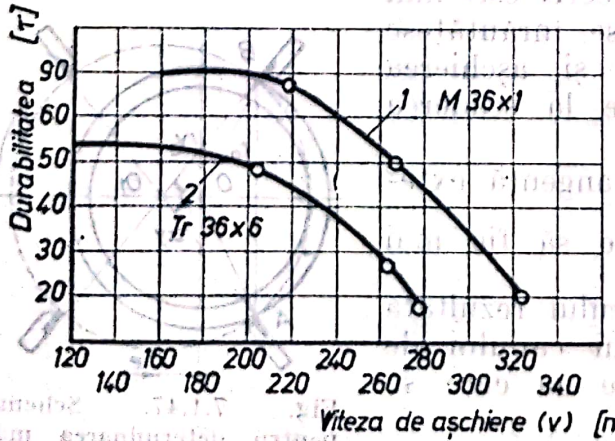


Fig. 7.1.48. Variația durabilității tăișului cuțitelor funcție de viteza de așchiere.

se obține relația de calcul a timpului de bază de mașină la filetarea rapidă cu cap de filetat „în vîrtej":

$$\tau_{bm} = \frac{\pi^2 d_c d_{vc} L}{1\,000 s_z z s_v}. \qquad (7.1.54)$$

În această relație, după cum se vede, intră toți factorii care caracterizează această metodă de filetare modernă.

În comparație cu filetarea prin frezare cu freză disc profilată, a cărui timp de bază de mașină τ_{bm} se determină după aceeași relație (7.1.54), filetarea rapidă „în vîrtej" este de trei ori mai productivă.

Filetarea rapidă „în vîrtej" a filetelor trapezoidale de pe șuruburile conducătoare lungi, în comparație cu metoda clasică de filetare (cu un singur cuțit) este de aproape 15 ori mai productivă. Astfel, de exemplu, pentru filetarea după metoda clasică a unui șurub conducător cu $L = 3\,000$ mm cu filetul trapezoidal Tr 26×4, timpul de bază de mașină este de 8 ore, pe cît vreme după metoda rapidă „în vîrtej" este de numai 30 minute.

Executarea filetului pe șuruburile melc după metoda clasică se face cu un singur cuțit. Numărul de treceri active și de readucere a cuțitului în poziția inițială este foarte mare (de ordinul a 50—100), ceea ce face ca productivitatea acestei metode să fie foarte mică. Acest lucru a făcut să se treacă la filetarea cu freze disc profilate care în comparație cu filetarea rapidă „în vîrtej" este de aproximativ 6 ori mai neproductivă, iar rugozitatea suprafeței flancurilor $R_a = 25—12{,}5$ μm, față de 1,6—0,8 μm la filetarea rapidă.

7.2.1.10.2. *Prelucrarea de degroșare a filetului exterior prin frezare.* În producția de masă și de serie, suprafețele elicoidale ale șuruburilor melc se degroșează prin: frezare cu freze-disc sau deget; frezare prin rulare cu freze-melc sau cu cuțit-roată; frezare cu cap de frezat în vîrtej.

Pentru frezarea cu freze-disc freza se reglează astfel încît axa acesteia de rotație să fie înclinată cu unghiul θ de înclinare al spirei melcului (fig. 7.1.49). În acest caz, așchierea are loc în secțiunea normală pe flancurile golului dintre două spire. De aceea, pentru așchierea șuruburilor melc arhimedici și evolventici și a celor neliniari freza trebuie să aibă dinți cu profilul curbiliniu, iar pentru așchierea șuruburilor melc tip convolute-rectiliniu.

Șuruburile melc cu modulul pînă la 10 mm se frezează dintr-o singură trecere, iar cele cu $m > 10$ mm — din două treceri, în prima trecere îndepărtînd pînă la 0,8 din adîncimea golului.

Frezarea cu freze disc se aplică în general numai pentru prelucrarea de degroșare cu freze cu profil liniar, lăsîndu-se un adaos de prelucrare mai mare, pentru a se asigura eliminarea erorilor în operațiile de finisare.

Frezarea cu freze-deget conice este economică numai în producția de serie mică și individuală pentru frezarea de degroșare a șuruburilor cu modulul mare. Freza se reglează astfel încît axa ei de rotație să fie perpendiculară pe axa șurubului (la fel ca în cazul rectificării cu piatră de rectificat similară frezei-deget conice).

Frezarea de degroșare prin rulare cu freze melc a șuruburilor melc se poate realiza pe mașini universale de frezat dantură sau pe mașini de frezat caneluri. Această metodă se aplică pentru degroșarea melcilor evolventici cu unghi mare de înclinare a canalelor elicoidale, cu freze-melc care au dinți cu muchii așchietoare rectilinii. Productivitatea acestei metode este ridicată, deoarece toate canalele elicoidale ale melcului, cînd aceasta are mai multe începuturi, se frezează simultan.

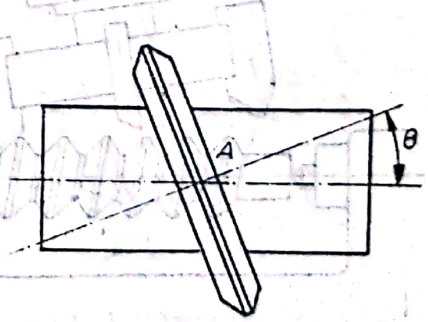


Figura 7.1.49. Frezarea filetului cu freză disc.

Frezarea prin rulare cu cuțit-roată este metoda de prelucrare care asigură cea mai înaltă productivitate și precizie de prelucrare dintre toate metodele de prelucrare prin frezare. Această metodă se aplică numai în producția

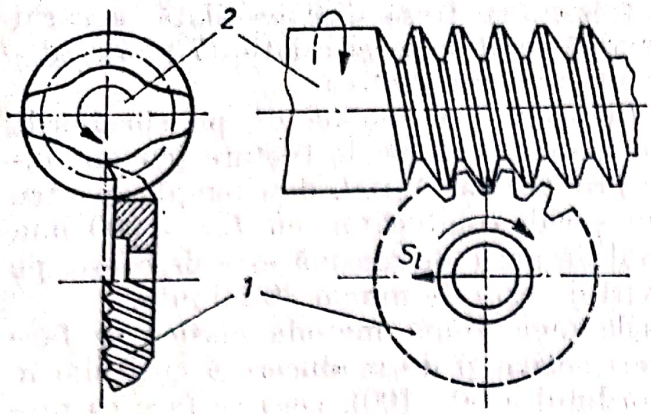


Fig. 7.1.50. Frezarea filetului cu cuțit roată.

de masă și serie mare, pe mașini speciale de frezat sau pe mașini universale de frezat dantură, echipate cu un suport corespunzător.

Melcul și cuțitul-roată angrenează în timpul prelucrării, unghiul de intersecție al axelor de rotație fiind de 90° (fig. 7.1.50). Cuțitul roată *1* execută o mișcare de rotație și o mișcare de avans longitudinal s_l în lungul axei de rotației a melcului. Șurubul melc *2* se rotește în jurul axei sale, datorită lanțului cinematic corespunzător.

După această metodă se prelucrează șuruburile melc arhimedice și evolventice.

Pentru frezarea melcilor cu unghiul de înclinare a spirei mai mic de 5—6° se utilizează cuțite-roată cu dinți drepți, iar atunci cînd unghiul este mai mare de 5—6° — cuțite cu roată cu dinți înclinați.

Unghiul de înclinare a elicei (liniei elicoidale) pe cilindrul de referință al cuțitului roată trebuie să fie egal cu unghiul de înclinare pe cilindrul de divizare al melcului. De aceea, pentru frezarea melcilor cu unghiuri diferite de înclinare ale elicei, sînt necesare cuțite roată corespunzătoare.

Frezarea cu cap de frezat în vîrtej pe un strung universal se aplică în producția de masă și serie și este similară metodei de filetare în vîrtej. Pentru frezarea șuruburilor melc arhimedice și evolventice cuțitele capului de frezat au un profil curbiliniu, iar pentru frezarea celor convolute — rectiliniu.

Frezarea cu cap de frezat cu dinți armați cu plăcuțe de carburi metalice pe mașini de frezat verticale asigură o productivitate foarte ridicată. Se aplică în special la frezarea melcilor cu modul mare ($m = 6 \ldots 10$ mm). Pentru realizarea canalului elicoidal piesa se fixează într-un dispozitiv similar capului divizor, care imprimă acesteia o mișcare de rotație în jurul axei sale (fig. 7.1.51); împreună cu dispozitivul, fixat pe sania mașinii, piesa execută o mișcare de avans longitudinal s_l. Capul de frezat execută doar o mișcare de rotație în jurul axei sale, cu o viteză circulară egală cu viteza de așchiere.

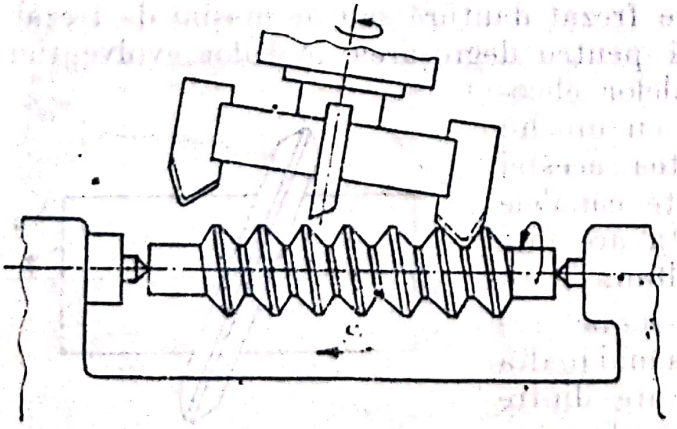


Fig. 7.1.51. Dispozitiv pentru frezarea filetului cu cap de frezat.

7.1.1.10.3. Prelucrarea de degroșare a filetului trapezoidal prin strunjire cu cuțite profilate. În producția de serie mică și individuală prelucrarea de degroșare prin frezare, după metodele prezentate mai înainte, nu este economică atunci cînd pentru această operație trebuie să se execute în mod special sculele respective. De aceea, în cazul acestui tip de producție, atît prelucrarea de degroșare, cît și

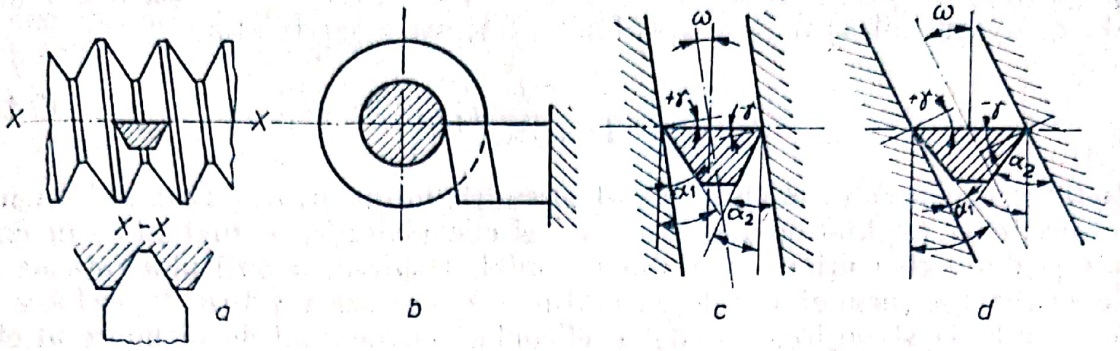


Fig. 7.1.52. Strunjirea de degroșare a filetului cu cuțit profilat.

cea de semifinisare se fac prin strunjire cu cuțite profilate. Și în producția de serie mare și masă, pentru reducerea erorilor de profil ale canalului elicoidal, prelucrarea de semifinisare se face prin strunjire cu cuțite profilate cu muchiile așchietoare rectilinii. Profilul necesar al flancurilor canalului elicoidal se realizează prin poziționarea corespunzătoare a cuțitului.

Astfel, pentru prelucrarea melcului arhimedic, cuțitul cu profil liniar se fixează în așa fel, încît muchiile lui așchietoare să fie dispuse în planul axial $x - x$ al șurubului melc (fig. 7.1.52, *a*).

La șuruburile melc a căror canal elicoidal are un unghi de înclinare mai mic de 6° se strunjesc ambele suprafețe laterale cu un cuțit profilat.

Atunci cînd unghiul ω de înclinare a canalului elicoidal este mai mare de 6°, flancurile canalului se prelucrează fiecare cu cîte un cuțit (fig. 7.1.53), deoarece unghiurile de așezare funcționale ale tăișurilor laterale α_1 și α_2 depind de mărimea unghiului ω de înclinare a canalului elicoidal (v. fig. 7.1.52, *c* și *d*).

De mărimea unghiului ω depind și unghiurile de degajare γ ale tăișurilor cuțitului. Datorită acestui lucru, pentru a se crea condiții de așchiere favorabile și tăișului care așchiază suprafața flancului din dreapta a canalului, pe suprafața de degajare a cuțitului se execută un canal paralel cu tăișul, micșorînd în acest fel valoarea negativă a unghiului de degajare γ (fig. 7.1.54).

Pentru strunjirea canalului elicoidal al șurubului melc evolventic cuțitul cu profil rectiliniu se fixează în așa fel încît fața lui de degajare să fie

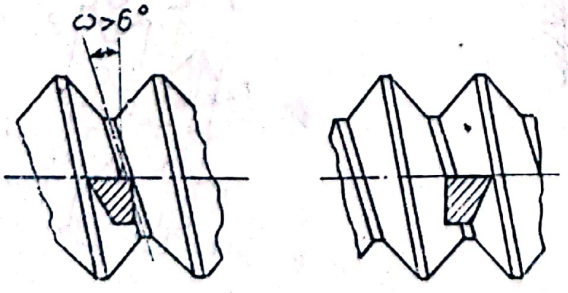


Fig. 7.1.53. Strunjirea flancurilor cu cuțite unilaterale (pentru $\omega > 6°$).

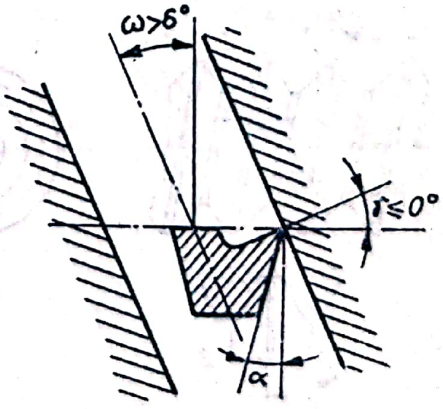


Fig. 7.1.54. Ascuțirea cuțitului pentru obținerea unghiului $\gamma \geq 0°$.

în planul tangent cilindrului coaxial cu axa de simetrie a șurubului melc. Raza acestui cilindru (fig. 7.1.55) se determină cu relația:

$$r_c = \frac{m_a z \cos \omega}{2\sqrt{\sin^2 \omega + \operatorname{tg}^2 \theta_p}}, \qquad (7.1.55)$$

unde: m_a reprezintă modulul axial al șurubului melc; z — numărul de începuturi; ω — unghiul de înclinare a elicei elicoidale; θ_p — unghiul de înclinare a suprafeței flancurilor canalului elicoidal. Deplasarea cuțitului față de axa de simetrie a șurubului melc cu mărimea r_c creează condiții de așchiere nefavorabile la strunjirea canalelor elicoidale cu unghiul de înclinare al elicei mai mare de 6°. Datorită acestui fapt, așchierea se efectuează cu cuțite cu muchia așchietoare curbilinie în planul axial sau normal pe suprafața spirei elicoidale.

Strunjirea canalului elicoidal al șuruburilor melc convolute se poate face astfel: cu un singur cuțit *1*, a cărei față de degajare este normală pe elicea medie a golului (fig. 7.1.56, melc tip *NG*), sau cu două cuțite, *1'* și *1''*, fiecare așchiind suprafața cîte unui flanc al spirei; cu un singur cuțit, *2* (la melcul tip *ND*), care așchiază simultan cele două suprafețe laterale ale aceleiași spire, sau cu două cuțite, *2'* și *2''*, fiecare așchiind succesiv cîte una din suprafețele laterale ale aceleiași spire.

La strunjirea după prima variantă, cuțitul *1* poate fi construit cu fața de degajare avînd unghiul $\lambda = 0$ și rotit în dispozitivul de fixare astfel încît fața de degajare a acestuia să fie înclinată cu unghiul ω de înclinare a elicei. Cuțitul *1* poate fi construit inițial cu fața de degajare înclinată cu unghiul de înclinare a elicei $\lambda = \omega$ (fig. 7.1.57). La acest cuțit:

$$l_1 = 1{,}25\ m_a; \quad s_n^g = \frac{\pi m_a}{2}; \quad l_2 = s_n^g - 2\, l_1 \operatorname{tg} \alpha_{c_n}.$$

Cînd unghiul de înclinare a elicei $\omega > 6°$ și $m_a > 5$ mm, prelucrarea se face cu două cuțite, *1'* și *1''*, cîte unul pentru fiecare flanc al plinului. Fața

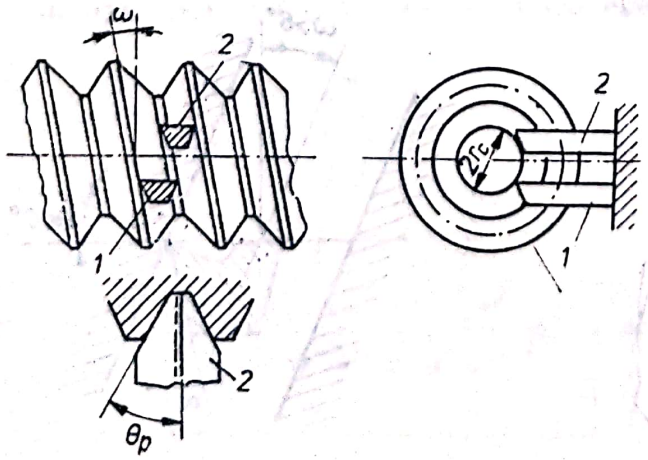


Fig. 7.1.55. Poziția cuțitelor la strunjirea filetului evolventic.

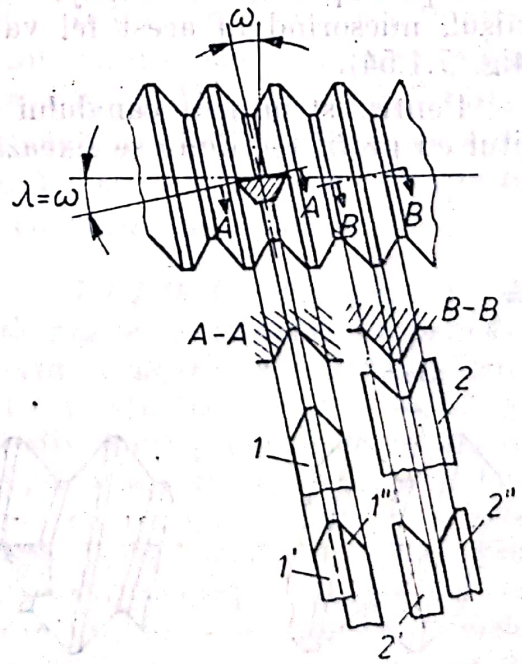


Fig. 7.1.56. Strunjirea canalelor la șuruburile melc-convolut.

de degajare a cuțitelor, în acest caz, trebuie să fie ridicată în raport cu axa de rotație a piesei cu mărimea (fig. 7.1.58).

$$R_{dr} = m_a \left(q + \frac{\pi}{2} \operatorname{cotg} \theta_p \cos \omega_p \right) \frac{\operatorname{tg} \theta_p \sin \omega_p}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_p \sin^2 \theta_p}}, \qquad (7.1.56)$$

în care q reprezintă coeficientul diametral dat în STAS 6845-63, iar m_a, θ_p și ω au aceleași semnificații ca în relația (7.1.55).

Unghiul profilului sculei:

$$\theta_b = \operatorname{arc\,sin} (\sin \theta_p \cos \omega_p). \qquad (7.1.57)$$

La strunjirea după varianta cu două cuțite, *2'* și *2''*, cîte unul pentru fiecare flanc al plinului, fața de degajare a cuțitelor trebuie să fie ridicată deasupra axei de rotație a șurubului melc cu mărimea:

$$R_{dr} = m_a \left(q - \frac{\pi}{2} \operatorname{cotg} \theta_p \cos \omega \right) \frac{\operatorname{tg} \theta_p \sin \omega_g}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_p \sin^2 \omega_g}} \qquad (7.1.58)$$

în care ω_g este unghiul de înclinare al elicei de referință a golului canalului elicoidal.

7.1.1.10.4. Prelucrarea de finisare a filetului trapezoidal prin rectificare. Rectificarea canalului elicoidal al șurubului melc se efectuează în patru operații: rectificare de degroșare înaintea tratamentului termic de cementare și călire; rectificare de semifinisare după tratamentul termic de cementare și călire; rectificarea de semifinisare după al doilea tratament termic de detensionare.

Rectificarea se face cu discuri abrazive, cu piatră oală sau piatră deget conică.

Cu ajutorul discurilor abrazive se face rectificarea canalelor elicoidale ale șuruburilor melc arhimedice și evolventice. La rectificarea cu discuri

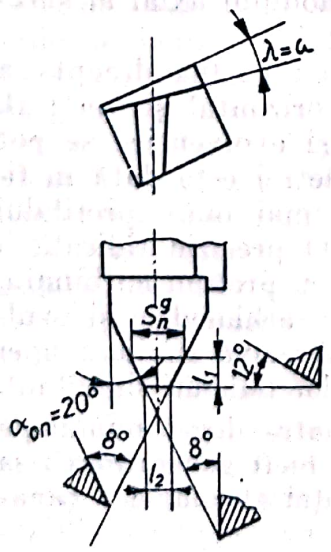


Fig. 7.1.57. Unghiurile profilului cuțitului pentru prelucrarea melcului-convolut.

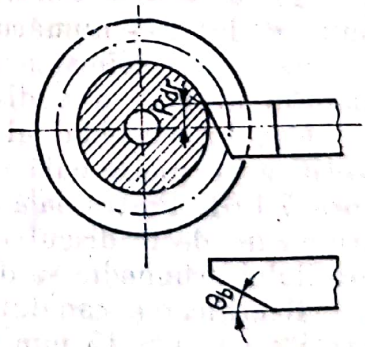


Fig. 7.1.58. Poziția cuțitelor la strunjirea filetului cu $\omega > 6°$.

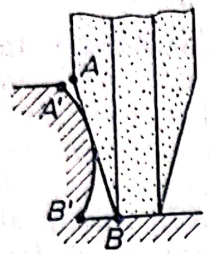


Fig. 7.1.59. Profilul flancului canalului elicoidal și al discului abraziv.

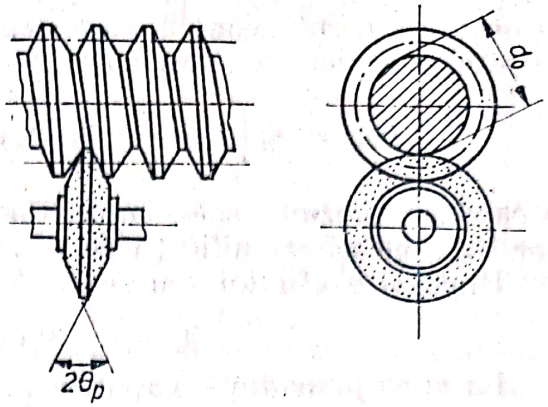


Fig. 7.1.60. Schema rectificării filetului cu disc monoprofil.

cu o spiră (similare celor de rectificare filet) axa de rotație a discului, ca și în cazul frezării cu freze disc (v. fig. 7.1.49) se înclină față de axa de rotație a piesei cu unghiul de înclinare a elicei pe cilindrul de referință.

Profilul real $A'B'$ (fig. 7.1.59) al flancurilor canalului elicoidal al șurubului melc rectificat este curbiliniu, cu toate că profilul discului abraziv este rectiliniu (AB). Această abatere de la liniaritate scade cu micșorarea diametrului discului abraziv. Astfel, reducerea diametrului de la 300 la 250 mm, micșorează abaterea de la liniaritate a flancului cu 6—7 μm. Din această cauză rectificarea canalului elicoidal al șurubului melc și a frezei melc, cu care se frezează dantura roții melcate cu care va angrena șurubul melc respectiv trebuie să se facă cu discuri abrazive cu aproximativ aceleași diametre.

La rectificarea cu disc abraziv cu profilul liniar a unui flanc al canalului elicoidal al șurubului melc evolventic, generatoarea discului trebuie să coincidă cu generatoarea melcului (fig. 7.1.60). Jumătatea unghiului de înclinare a fețelor laterale ale discului abraziv θ_p se determină din relația:

$$\operatorname{tg} \theta_p = \frac{d_0}{m_a z}, \qquad (7.1.59)$$

în care: d_0 este diametrul cilindrului de bază; m_a — modulul axial al șurubului melc; z — numărul de începuturi.

Pentru rectificarea șuruburilor melc evolventice cu partea dreaptă a discului abraziv axa discului se rotește în planurile orizontal și vertical.

Canalul elicoidal al șuruburilor melc arhimedice și evolventice se pot rectifica cu pietre-oală conice. Schema de reglare a pietrei este dată în figura 7.1.61. Piatra-oală asigură o precizie geometrică mai mare profilului arhimedic decît discul cilindric cu același diametru. O precizie ridicată a profilului arhimedic se obține la rectificarea cu piatră cu profilul curbiliniu.

Rectificarea canalului elicoidal al șuruburilor-melc arhimedice și evolventice cu $m > 15$ mm se poate face și cu o piatră abrazivă similară unei freze-deget conice (atît a cîte unui flanc, cît și a ambelor flancuri simultan).

La rectificarea șuruburilor melc evolventice cu piatră deget numai pe cîte un flanc al canalului, piatra se poziționează astfel încît generatoarea sa dreaptă să coincidă cu generatoarea dreaptă a suprafeței elicoidale a canalului.

La rectificarea simultană a ambelor flancuri ale canalului elicoidal ale șuruburilor melc arhimedice și evolventice piatra de rectificat deget trebuie

Scanned with OKEN Scanner

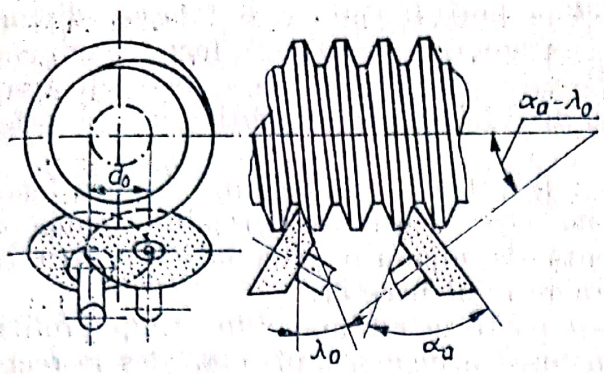


Fig. 7.1.61. Schema rectificării filetului cu pietre-oală conice.

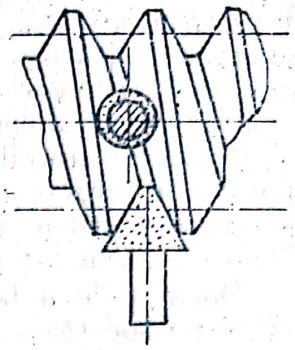


Fig. 7.1.62. Schema rectificării filetului cu piatră-deget.

să aibă un profil curbiliniu și axa sa de rotație să fie perpendiculară pe axa șuruburilor melc (fig. 7.1.62).

7.1.1.10.5. Prelucrarea de finisare a filetului triunghiular prin rectificare. În construcția de mașini, piese cu filete care se rectifică sînt: sculele pentru tăiat filet, calibrele pentru controlat filet, role pentru rulat filet, șuruburile conducătoare.

Toate piesele amintite se rectifică după tratamentul termic în urma căruia în general ele se deformează, lucru ce impune ca pentru operația de rectificare să se lase un adaos de prelucrare mai mare decît de obicei.

Filetele cu pasul pînă la 1,5—2 mm se rectifică la fiecare trecere pe toată suprafața flancurilor.

În timpul procesului de rectificare se degajă o cantitate mare de căldură în zona de așchiere, care depinde de regimul de lucru cu care se face rectificarea. Dacă regimul de lucru este prea greu din cauza cantității mari de căldură ce se degajă, suprafața flancurilor filetului se decarburează.

Sînt foarte mulți aceia care cred că, arderea filetului depinde numai de calitatea discului abraziv. S-a demonstrat însă, că la rectificarea filetului cu orice fel de disc de rectificat se pot crea astfel de condiții de rectificare în care rectificarea să aibă loc fără decarburare. Este just însă că asupra cantității de căldură ce se degajă în timpul procesului de rectificare ce produce arderea filetului o influență foarte mare o are și calitatea discului de rectificat. De aceea, alegerea regimului de așchiere precum și calitățile discurilor de rectificat trebuie să se facă cu foarte multă atenție.

La rectificarea de finisare, elementul de bază de care depind caracteristicile discului de rectificat este *granulația* lui. Alegerea granulației discului se face în funcție de mărimea razei de la fundul filetului.

Din diagrama prezentată în figura 7.1.63 se vede că dacă pentru filete cu pasul $P = 1$ mm și mai mare alegerea granulației discului abraziv nu se face cu mare greutate, pentru filete cu pasul de 0,5 mm și mai mici, acest lucru este foarte

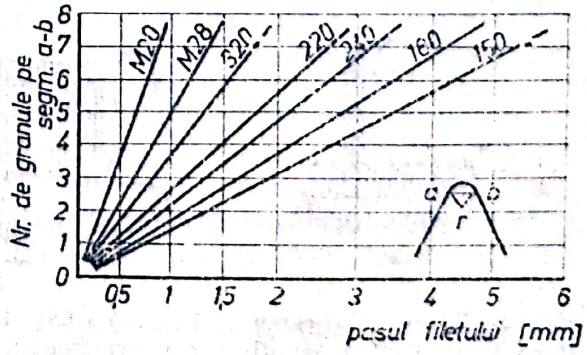


Fig. 7.1.63. Diagramă pentru alegerea granulației discului de rectificat funcție de numărul de granule în secțiunea *a-b*.

greu. Aceasta se explică prin aceea că pe lîngă faptul că se folosesc discuri cu granulaţie foarte fină, cantitatea de granule se micşorează, lucru ce impune ridicarea durităţii discului pentru a se menţine cît se poate de mult timp profilul lui. Ridicarea însă a durităţii discului creează condiţii termice nefavorabile de rectificare.

Numărul granulaţiei discului nu influenţează atît de mult asupra fenomenului de ardere cît influenţează *duritatea*. Duritatea discului trebuie să se schimbe într-o anumită dependenţă de numărul granulaţiei pentru ca discul de rectificat să-şi poată păstra profilul necesar.

Dorinţa de a face ca discul să-şi păstreze cît mai mult timp profilul numai pe socoteala ridicării durităţii nu-şi atinge scopul, mai ales la rectificarea filetelor cu pasul mic.

Metode de rectificare a filetului

Rectificarea filetului se poate face din plin pe piese „crude" (necălite) sau călite sau după ce pe piesa respectivă a fost realizat filet în operaţia precedentă.

Rectificarea filetului se poate face după una din metodele prezentate în continuare.

1. Rectificarea cu disc îngust de 6—10 mm cu o singură muchie aşchietoare care are profilul egal cu profilul golului (fig. 7.1.64). Piesa pe lîngă mişcarea de rotaţie în jurul axei de simetrie mai are şi o mişcare de avans longitudinală faţă de discul de rectificat. Spirele filetului se rectifică succesiv.

2. Rectificarea cu disc cu o lăţime de 20—70 mm cu mai multe spire (fig. 7.1.65).

Discul are practicate pe periferia lui canale circulare cu profilul plinului egal cu profilul golului filetului ce se rectifică şi cu distanţa dintre ele egală cu pasul filetului. Rectificarea se face după metoda avansului transversal pînă la dimensiunea respectivă, piesa ce se rectifică avînd pe lîngă mişcarea de rotaţie şi o mişcare de avans longitudinal egal cu 2 ... 4 spire (paşi).

3. Rectificarea cu disc cu o lăţime de 20—70 mm mult mai mică decît lungimea porţiunii cu filet a piesei (fig. 7.1.66). Rectificarea se face cu avans longitudinal al piesei faţă de discul de rectificat. Spirele filetului piesei se rectifică succesiv de către toate spirele discului de rectificat.

Comparînd lucrul discului cu o spiră cu al discului cu mai multe spire se constată că primul lucrează în condiţii mai grele decît ultimul. Aceasta se explică prin faptul că stratul de metal îndepărtat de către fiecare spiră în parte a discului cu mai multe spire este cu mult mai mic decît stratul înde-

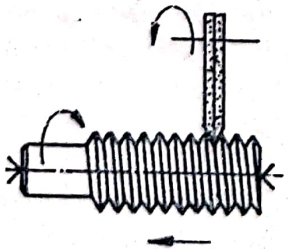


Figura 7.1.64. Reprezentarea schematică a rectificării filetului cu disc îngust.

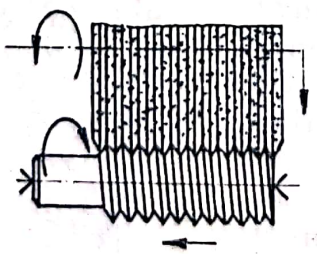


Fig. 7.1.65. Reprezentarea schematică a rectificării filetului cu disc lat.

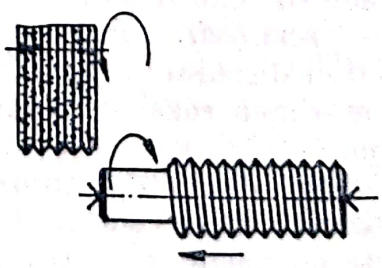


Fig. 7.1.66. Reprezentarea schematică a rectificării filetului cu disc lat şi cu avans longitudinal pe o lungime mai mare decît lungimea suprafeţei cu filet.

Scanned with OKEN Scanner

părtat de către discul cu o singură spiră. De asemenea este mai mică și încărcarea pe un grăunte abraziv. De aceea, probabilitatea de a se arde filetul la rectificare cu discuri cu mai multe spire este mult mai mică decît la rectificarea cu discuri cu o singură spiră. Durabilitatea granulelor discului cu mai multe spire este mai mare decît a discului cu o singură spiră. De asemenea, timpul de lucru la rectificarea cu discuri cu mai multe spire este mai mic decît la rectificarea cu discuri cu o singură spiră.

Eficacitatea rectificării cu discuri cu mai multe spire se determină cu ajutorul următoarelor relații: [49]:

1. La rectificarea după metoda cu avans transversal al discului și avans longitudinal al piesei (fig. 7.1.65), cu discuri cu mai multe spire:

$$K = 64\,\frac{n_2 l i_1}{s n_1 m},\ \%, \qquad (7.1.58)$$

unde n_1 și n_2 reprezintă numărul de rotații al piesei, în rot/min, pentru cazul cînd rectificarea se face cu un disc cu o spiră și cu mai multe spire; i_1 — numărul de treceri la rectificarea cu un disc cu o singură spiră; m — numărul de rotații al piesei în care se realizează avansul longitudinal; l — lungimea porțiunii cu filet a piesei, în mm; s — pasul filetului în mm.

La rectificarea din plin de exemplu a unui filet M $14\times1{,}5$ cu $l = 36$ mm, fie $n_1 = 4{,}6$ rot/min și $i_1 = 4$, iar $n_2 = 3$ rot/min și $m = 4$ rotații.

Introducînd valorile date în relația (7.1.58) se determină că eficacitatea rectificării filetului cu discuri de rectificat cu mai multe spire este:

$$K = 64\,\frac{3\cdot 36\cdot 4}{1{,}5\cdot 4{,}6\cdot 4} \approx 1\,000\%.$$

2. La rectificarea cu avans longitudinal al piesei (fig. 7.1.66) cu discuri de rectificat cu mai multe spire:

$$K = 64\,\frac{n_3 l i_1}{n_1 (l + 2H)\, i_2},\ \%, \qquad (7.1.59)$$

unde n_3 este numărul de rotații ale piesei, în rot/min la rectificarea cu discuri cu mai multe spire, cu avans longitudinal; i_2 — numărul de treceri la rectificarea cu discuri cu mai multe spire; H — lățimea discului cu mai multe spire, în mm.

Pentru rectificarea aceleiași piese, eficacitatea rectificării cu disc cu lățimea $H = 20$ mm cu mai multe spire dintr-o singură trecere, cu $i_2 = 1$, cu $n_3 = 6{,}5$ rot/min este:

$$K = 64\,\frac{6{,}5\cdot 36\cdot 4}{4{,}6\,(36 + 2\cdot 20)\cdot 1} = 171\%.$$

Din exemplele date se vede ușor cît de mare este eficacitatea rectificării filetului cu discuri de rectificat cu mai multe spire în comparație cu rectificarea cu discuri cu o singură spiră.

Precizia de prelucrare la rectificarea filetului cu discuri cu o singură spiră și cu mai multe spire se exprimă de obicei prin toleranța ce se poate realiza la pasul filetului, precum și la diametrul mediu (tabelul 7.1.4), ca fiind cei mai generali parametri ai preciziei de prelucrare.

Scanned with OKEN Scanner

După cum rezultă din tabelul 7.1.4, precizia de prelucrare la rectificarea cu discuri cu mai multe spire este mai mică decît la rectificarea cu discuri cu o singură spiră. Precizia de prelucrare este influențată în general de precizia spirelor discului și precizia filetului șurubului conducător al mașinii.

Tabelul 7.1.4

Precizia de prelucrare la rectificarea filetului cu discuri cu o singură sau cu mai multe spire

Modul de rectificare	Toleranța la diametrul mediu al filetului (în μm)	Toleranța la pasul filetului pe o lungime de 25 mm (în μm)
Rectificare cu discuri cu mai multe spire, cu avans transversal	±30	±5 ... 8
Rectificare cu discuri cu mai multe spire, cu avans longitudinal	±15	±5 ... 8
Rectificare cu discuri cu o singură spiră	±5	±2 ... 3

Rectificarea filetului cu discuri cu mai multe spire se poate face în trei moduri (fig. 7.1.67):

1 — cu axa de rotație a piesei și a discului paralelă (la rectificarea filetelor cilindrice, fig. 7.1.67, *a*);

2 — cu axa de rotație a piesei și a discului neparalele, însă ele sînt în același plan (la rectificarea filetelor conice fig. 7.1.67, *b*).

3 — axa de rotație a piesei și a discului de rectificat sînt încrucișate cu un unghi τ egal sau diferit de unghiul de înclinație al spirei filetului piesei (fig. 7.1.67, *c*).

La rectificarea cu axele de rotație a piesei și discului paralele, spirele discului de rectificat perpendiculare pe axa de rotație a piesei trebuie să formeze cu direcția spirei filetului un unghi egal cu unghiul de înclinație al spirei filetului respectiv. În cazul rectificării după această schemă are loc o așchiere suplimentară, ceea ce duce la deformarea profilului filetului.

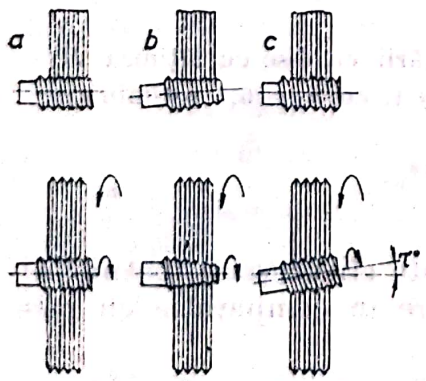


Fig. 7.1.67. Posibilități de rectificare a filetului cu discuri late.

Un fenomen similar apare și la rectificarea după cea de-a doua schemă (reprezentată în fig. 7.1.67, *b*), la rectificarea filetelor conice, cînd spirele discului de rectificat sînt perpendiculare pe axa de rotație a piesei sau pe suprafața conică generată. Profilul corect al filetului se poate obține numai dacă discul de rectificat se înclină cu un unghi egal cu cel de înclinare al spirelor filetului de pe piesă și dacă suprafața exterioară a acesteia are forma unui hiperboloid de revoluție. Se va putea evita într-o măsură oarecare apariția erorii de formă a filetului numai dacă rectificarea se face cu avans longitudinal, însă în acest caz va așchia numai spirele de pe o jumătate a discului de rectificat.

Scanned with OKEN Scanner

Rectificarea cu discuri cu mai multe spire cu dispunerea paralelă a axelor de rotație a piesei și discului este limitată la lățimea golului dintre spirele filetului, a cărei valoare determină alegerea modului de rectificare de finisare a filetului respectiv.

În tabelul 7.1.5 sînt arătate dimensiunile filetelor care pot fi rectificate cu discuri cu mai multe spire, cu axele de rotație a piesei și discului paralele.

Tabelul 7.1.5

Dimensiunile filetelor care pot fi rectificate cu discuri cu mai multe spire

Diametrul filetului, în mm	Pasul filetului, în mm				
	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00
14	×	—	—	—	—
16	×	×	—	—	—
18	×	×	×	—	—
20	×	×	×	×	—
22	×	×	×	×	—
24	×	×	×	×	×
26	×	×	×	×	×
28	×	×	×	×	×
30	×	×	×	×	×

Observație: Semnul — indică imposibilitatea rectificării după această metodă.

La rectificarea filetului conic cu discuri cu mai multe spire axa de rotație a discului se află în același plan orizontal cu cea a piesei, însă este înclinată față de aceasta din urmă cu unghiul de înclinație al conului. Rectificarea se poate realiza fie cu avans longitudinal, fie cu avans transversal. Între rectificarea filetului conic și cilindric nu există nici o deosebire principală.

Condiții mult mai favorabile de prelucrare cu discuri late cu mai multe spire se creează la rectificarea după cea de a treia schemă (fig. 7.1.67, *c*) la care axele de rotație a piesei și discului de rectificat sînt încrucișate cu un unghi egal sau mai mic decît unghiul de înclinație a spirelor filetului. În acest caz profilele discului și al filetului se află în același plan de așchiere, lucru care evită așchierea suplimentară a filetului în partea inferioară a acestuia. Rectificarea filetului cu discuri cu mai multe spire are loc în aceleași condiții cinematice ca și cînd s-ar face cu discuri cu o singură spiră. Profilul filetului și anume rectilinitatea flancurilor, unghiul la vîrf și raza de la fundul filetului sînt influențate numai de precizia profilului discului și de caracteristicile lui.

La rectificarea filetului pe piese cu suprafețe de revoluție cu generatoare rectilinii unghiul de înclinație al discului de rectificat cu mai multe spire provoacă o abatere a dimensiunilor de diametru a filetului rectificat.

Scanned with OKEN Scanner

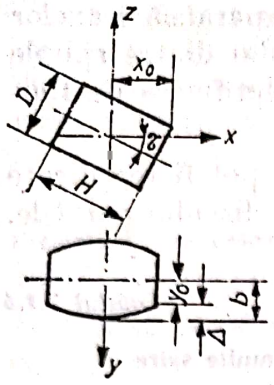


Fig. 7.1.68. Forma discului de rectificat în secțiune paralelă cu planul avansului.

Discul de rectificat cilindric cu mai multe spire în secțiunea paralelă cu planul avansului (fig. 7.1.68) are formă eliptică mărginită la suprafețele lui frontale. Abaterea maximă de la forma cilindrică în secțiunea axială este:

$$\Delta = b - y_0, \tag{7.1.60}$$

în care

$$b = \frac{D}{2}, \text{ iar } y_0 = \frac{D}{2}\left(1 - \frac{H^2 \operatorname{tg}^2 \tau}{2D^2}\right). \tag{7.1.61}$$

Rezultă deci că:

$$\Delta = \frac{D}{2} - \frac{D}{2}\left(1 - \frac{H^2 \operatorname{tg}^2 \tau}{2D^2}\right) = \frac{H^2 \operatorname{tg}^2 \tau}{4D}. \tag{7.1.62}$$

Ținînd seama de faptul că în general unghiul $\tau \leqslant 3°$, iar în medie diametrul discurilor abrazive cu mai multe spire este $D = 350$ mm și lățimea $H = 40$ mm, mărimea Δ calculată cu relația (7.1.62) este:

$$\Delta = \frac{40^2 \operatorname{tg}^2 3°}{4 \cdot 350} = 0{,}003 \text{ mm}.$$

Deci, la rectificarea filetului cu discuri late cu mai multe spire, cu avans transversal, diferența diametrelor filetului în secțiunea de mijloc și la capete (pe o lungime de ± 20 mm de la mijloc) este foarte mică și anume de numai 6 μm.

Rezultă deci că precizia filetului rectificat cu disc lat cu mai multe spire este funcție în primul rînd de precizia spirelor circulare ale discului și de precizia pasului șurubului conducător.

Regimul de rectificare al filetului este format din:
v_d — viteza periferică a discului de rectificat, în m/s; n — numărul de rotații al piesei, în rot/min; t — adîncimea de așchiere, în mm; i — numărul de treceri.

În tabelul 7.1.6 se indică factorii care formează regimul de așchiere pentru fiecare metodă și mod de rectificare.

Tabelul 7.1.6

Factorii care formează regimul de așchiere pentru fiecare metodă de rectificare a filetelor

Modul și metoda de rectificare a filetului	Viteza periferică a discului v_d, în m/s	Numărul de rotații ale piesei		Numărul de treceri, i	Adîncimea de așchiere		
		n, în rot/min	Cu avans în adîncime după m rotații		la fiecare trecere t_i, în mm	la o rotație a piesei t_m, în mm	pe o spiră t_z, în mm
Cu discuri cu o singură spiră	×	×	—	×	×	—	—
Cu discuri cu mai multe, spire după metoda: cu avans transversal	×	—	×	—	—	×	—
Cu discuri cu mai multe spire, după metoda cu avans longitudinal	×	×	—	—	—	—	×

Scanned with OKEN Scanner

Mărimea vitezei admisibile a discurilor:

1 — obişnuite cu liant de bachelită şi liant ceramic este de 35 m/s.

2 — folosite pentru rectificarea rapidă cu liant ceramic este de 42—55 m/s.

3 — folosite pentru rectificarea rapidă cu liant de bachelită este de 55 m/s.

Numărul de rotaţii al piesei (n, rot/min) la rectificarea filetului cu discuri cu o singură spiră şi cu mai multe spire cu avans transversal se determină în funcţie de un coeficient C_1, care ţine seama de îndepărtarea specifică de metal de pe piesa ce se prelucrează în funcţie de pasul filetului S, de adîncimea de aşchiere t, de diametrul nominal al filetului D_n după relaţia:

$$n = C_1 \frac{S^{0,5}}{D_n^{0,7} t}. \qquad (7.1.63)$$

Numărul de rotaţii al piesei la rectificarea filetului cu discuri cu mai multe spire cu avans longitudinal se determină după relaţia:

$$n = C_1 \frac{H}{D_n^{0,7} t} \qquad (7.1.64)$$

sau:

$$n = C_1 \frac{zS^{0,5}}{D_n^{0,7} t}, \qquad (7.1.65)$$

unde H este lăţimea de lucru a discului, în mm; z — numărul de spire de pe discul de rectificat.

În tabelul 7.1.7 se dă lăţimea discului cu mai multe spire în funcţie de pasul filetului ce se rectifică după metoda de rectificare cu avans longitudinal.

Tabelul 7.1.7

Lăţimea discului de rectificat cu mai multe spire funcţie de pasul filetului

Pasul filetului, în mm	Lăţimea discului H, în mm	Numărul de spire z de pe discul de rectificat
0,75	25	33
1,0	32	32
1,5	50	33
2,0	63	31

De asemenea în tabelul 7.1.8 se dau valorile coeficientului C_1 în funcţie de modul şi operaţiile de rectificare a filetului.

Numărul de treceri i şi adîncimea de aşchiere t se stabilesc în funcţie de mărimea adaosului de prelucrare, precum şi de calitatea materialului din care este confecţionată piesa, avîndu-se în vedere evitarea posibilităţii de ardere a filetului.

Dacă numărul de treceri este egal cu $i = 2 \sim 3$, atunci adîncimea de aşchiere $t_1 = (0,5 \sim 0,7)t$ mm, $t_2 = (0,2 \sim 0,4)t$ mm, iar $t_3 = 0,1t$ mm, unde t este adîncimea totală de aşchiere egală cu adaosul de prelucrare.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.1.8

Valorile coeficientului C_1

Modul și metoda de rectificare a filetului	Operația de rectificare a filetului	Valoarea coeficientului C_1
Cu discuri cu o singură spiră	Rectificare din plin	12
	Rectificarea filetului care înainte de călire a fost confecționat prin așchiere	6
Cu discuri cu mai multe spire, cu avans transversal	Rectificare din plin	15
Cu discuri cu mai multe spire, cu avans longitudinal dintr-o singură trecere	Rectificare din plin	0,9
	Rectificare de finisare a filetului care înainte de călire a fost confecționat prin așchiere.	0,32

Rectificarea cu discuri late cu mai multe spire cu avans longitudinal se execută dintr-o singură trecere. În acest caz adîncimea de așchiere care revine unei spire este funcție de mărimea adaosului de prelucrare și de numărul spirelor așchietoare și de calibrare de pe suprafața de lucru a discului (fig. 7.1.69). Numărul total de spire circulare pe suprafața de lucru a discului de rectificat este:

$$z_t = z_a + z_c = \frac{H_l}{S}, \qquad (7.1.66)$$

în care z_a este numărul de spire circulare de așchiere; z_c — numărul de spire circulare de calibrare; H_l — lățimea suprafeței de lucru a discului de rectificat.

Numărul de spire circulare de așchiere este:

$$z_a = \frac{H_l - (2 \ldots 3) S}{S}. \qquad (7.1.67)$$

Numărul spirelor circulare de calibrare se ia de obicei egal cu $z_c = 2 \ldots 3$. Adîncimea de așchiere, în mm care revine pe o spiră este:

$$t_z = \frac{t}{z_a} = \frac{ts}{H_l - (2 \ldots 3) S}. \qquad (7.1.68)$$

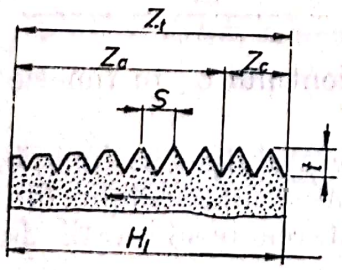


Fig. 7.1.69. Profilul spirelor discului de rectificat lat, în secțiune longitudinală.

Adîncimea de așchiere care revine unei spire circulare de așchiere la rectificarea cu avans longitudinal, la o singură trecere funcție de lățimile discurilor de rectificat (prezentate în tabelul 7.1.7) este egală cu:

a — la rectificarea din plin de degroșare și de finisare, 0,02 ... 0,05 mm;

b — la rectificarea de finisare a filetului degroșat în operația precedentă călirii, 0,003 ... 0,01 mm.

Regimul de așchiere stabilit trebuie să evite decarburarea filetului atît în operația de finisare

cît și în cea de degroșare, deoarece adîncimea stratului decarburat ajunge pînă la 0,3 mm, ceea ce, după cum se vede, este imposibil de îndepărtat în operația de finisare. Rezultă deci, că regimurile de așchiere irațională decarburează pe o adîncime atît de mare încît durata de exploatare a filetului rectificat scade foarte mult, mai ales dacă piesa rectificată este o sculă așchietoare.

În [49] sînt date valori ale parametrilor regimului de așchiere la rectificarea filetului cu discuri de rectificat cu una și mai multe spire.

Profilarea discului abraziv cu o singură spiră se face cu diamantul fixat într-un dispozitiv cu ajutorul căruia diamantul poate fi „plimbat" manual sub unghiul respectiv, odată pe o față a discului, apoi pe cealaltă, profilînd în felul acesta discul abraziv după profilul filetului ce urmează a se executa.

Profilarea discurilor abrazive cu mai multe spire se face prin rulare cu ajutorul unei role speciale prevăzute pe toată circumferința ei cu profilul ce urmează să se execute pe piesa respectivă.

Rola este confecționată din oțel rapid, tratată termic, cu o duritate de HRC = 60 ... 67. Este fixată pe un dorn care se poate roti liber între vîrfuri, în locul piesei, se apropie manual discul de rectificat care se rotește cu o turație de 70—100 rot/min și se presează ușor împotriva acestuia.

Discul de rectificat este antrenat cu numărul de rotații arătat, manual sau cu ajutorul unui mecanism oarecare. În felul acesta rola respectivă moletează sau rulează discul abraziv. Pentru a se evita ruperea spirelor de pe discul de rectificat în timpul rulării, rola este prevăzută cu canale speciale longitudinale. Rularea este însoțită de o spălare și răcire abundentă cu emulsie, care spală granulele abrazive depuse între spirele rolei.

Cu ajutorul unei role se pot rula (recondiționa) 10—15 discuri.

7.1.1.10.6. Prelucrarea filetului de înaltă precizie prin strunjire cu linial de corecție. Prelucrările de finisare ale filetelor precise se deosebesc de cele ale șuruburilor de fixare sau ale pieselor cu filete obișnuite. Ele se fac cu cuțite profilate, cuțite pieptene (ștrelere) sau cu filiere calibrate. Foarte des aceste filete, mai ales cele călite, se rodează sau se rectifică.

Filetele precise se prelucrează pe strunguri speciale de tăiat filete, prevăzute cu liniale de corecție sau cu mecanisme care fac ca erorile de pas ale șurubului conducător să se copieze într-o foarte mică măsură pe filetul piesei ce se prelucrează. Precizia de prelucrare a pasului filetului pe astfel de strunguri este de 0,003 mm pe o lungime de 50 mm, de 0,004 mm pe o lungime de 150 mm și de 0,005 mm pe o lungime de 300 mm, pe cînd la prelucrarea pe strunguri de precizie fără linial de corecție este de 0,010 mm, 0,015 mm și 0,020 mm pe aceleași lungimi ale filetului ca mai sus. Deci, precizia realizată este de 3—4 ori mai mică.

Principiul linialului de corecție constă în următoarele (fig. 7.1.71): piulița *1* a șurubului conducător *2*, spre deosebire de cea a strungurilor universale obișnuite, are posibilitatea de a se roti în jurul axei sale, în locașul din placa zăvor a căruciorului, brațul *3* solidarizat cu piulița *1*, alunecă pe linialul *4*, care se poate înclina față de planul orizontal cu diverse unghiuri β; acest braț este apăsat pe linialul de corecție de o forță exterioară F (o contragreutate sau un arc).

La deplasarea piuliței *1* în lungul șurubului conducător, o dată cu căruciorul strungului, datorită faptului că este solidarizată de brațul *3*, acesta din urmă, alunecînd pe linialul *4* înclinat cu unghiul β, execută în același timp și o mișcare de rotație în jurul axei sale cu unghiul α. Prin rotirea în

Scanned with OKEN Scanner

jurul axei sale, piuliţa imprimă căruciorului strungului o mişcare suplimentară de avans longitudinal, simultan cu mişcarea de avans dată de şurubul conducător.

Cu ajutorul linialului de corecţie pe lîngă faptul că se poate micşora influenţa erorilor pasului şurubului conducător asupra pasului filetului ce se prelucrează, strungurile se mai pot regla în aşa fel încît:

— să se mărească sau să se micşoreze pasul filetului ce se prelucrează cu mărimea cu care în urma tratamentului termic piesa filetată se contractă sau se alungeşte;

— să se compenseze influenţa variaţiei temperaturii încăperii în care este instalat strungul faţă de temperatura normală de 20°.

Pentru a elimina influenţa erorilor de pas ale şurubului conducător profilul linialului de corecţie se confecţionează pe bază de calcule care ţin seamă de erorile arătate. Aşa după cum se vede în figura 7.1.70, în abscisă se trece deplasarea piuliţei şurubului conducător de la un punct iniţial, iar pe ordonată ridicările pîrghiei ce face corp comun cu piuliţa şurubului conducător şi culisează pe profilul linialului.

Proeminenţele de pe muchia linialului de corecţie sînt astfel confecţionate încît la o ridicare a pîrghiei piuliţa să se rotească cu un unghi α şi să dea o mişcare suplimentară saniei longitudinale a strungului egală cu corecţia ce trebuie făcută. De exemplu, sania strungului se deplasează cu 1 μm la o ridicare a pîrghiei cu 0,2 mm, ceea ce corespunde unei rotaţii a piuliţei cu 5′ dacă lungimea braţului este egală cu 100 mm (la un strung a cărui şurub conducător are 20 paşi pe un ţol).

Pentru a compensa mărimea cu care pasul unui filet prelucrat se contractă sau se lungeşte după tratamentul termic trebuie ca linialul de corecţie să se încline cu un unghi β a cărui valoare se determină în cele ce urmează.

Contracţia sau alungirea filetului de lungimea L se determină experimental şi se notează cu ΔL.

Pentru a compensa această mărime ΔL este necesar ca pîrghia piuliţei să se rotească cu un unghi α:

$$\alpha = \frac{h}{R}, \qquad (7.1.69)$$

unde h este mărimea cu care capătul pîrghiei piuliţei s-a ridicat în plan vertical, după ce sania strungului a parcurs lungimea L; R — distanţa de la axa de simetrie a şurubului conducător pînă la linialul de corecţie.

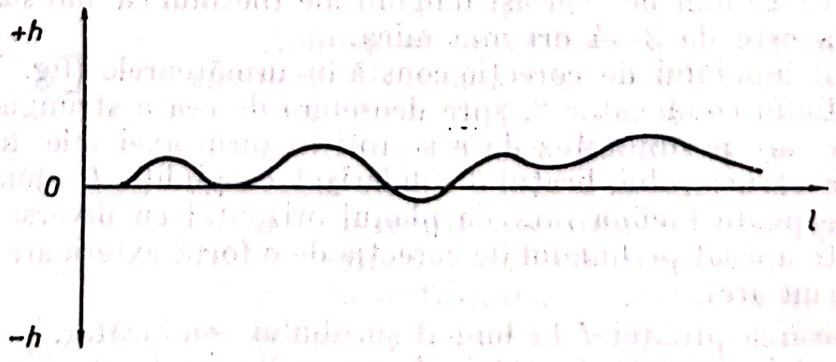


Fig. 7.1.70. Variaţia deplasării axiale a piuliţei şurubului conducător funcţie de deplasarea pe verticală a braţului piuliţei.

Scanned with OKEN Scanner

Mărimea h este:

$$h = L \operatorname{tg} \beta. \qquad (7.1.70)$$

Înlocuind (7.1.70) în (7.1.69) se obține unghiul α ca fiind:

$$\alpha = \frac{L \operatorname{tg} \beta}{R} \approx \frac{L\beta}{R}. \qquad (7.1.71)$$

Cunoscînd unghiul α se poate determina mărimea ΔL:

$$\Delta L = \frac{\alpha}{360} P_{sc} \approx \frac{L\beta}{360} \frac{P_{sc}}{R}, \qquad (7.1.72)$$

unde P_{sc} este pasul șurubului conducător.

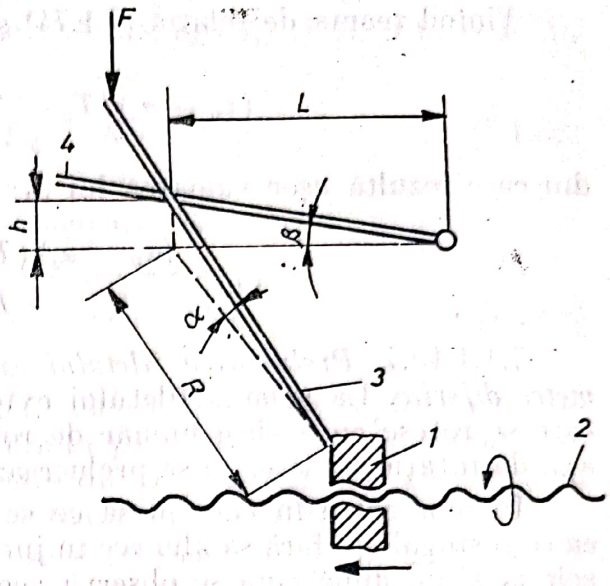


Fig. 7.1.71. Schema de principiu a linialului de corecție.

Din relația (7.1.72) se determină valoarea unghiului β cu care trebuie să se încline linialul de corecție pentru a asigura deplasarea suplimentară a saniei cu ΔL după ce aceasta a parcurs lungimea L:

$$\beta = \frac{\Delta L R\, 360}{L P_{sc}}. \qquad (7.1.73)$$

Pentru a face compensarea influenței variației temperaturii încăperii în care este instalat strungul, va trebui ca linialul de corecție să fie înclinat cu unghiul β_1 a cărui valoare se determină în continuare.

Eroarea de pas la piesa ce se prelucrează Δp_p este:

$$\Delta p_p = (\alpha_p - \alpha_s)(T_i - T_n), \qquad (7.1.74)$$

unde α_p este coeficientul de alungire liniară a materialului piesei; α_s — coeficientul de alungire liniară a materialului șurubului conducător; T_i — temperatura încăperii în timpul lucrului; T_n — temperatura normală a încăperii în timpul cînd s-a reglat strungul.

Capătul pîrghiei se va ridica în plan vertical cu o mărime egală cu h_1 la o deplasare a saniei pe o distanță egală cu un pas al filetului piesei p_p, dacă linialul de corecție a fost înclinat cu unghiul β_1. Deci:

$$h_1 = P_p \operatorname{tg} \beta_1. \qquad (7.1.75)$$

Piulița șurubului conducător în acest timp se va roti cu unghiul α_1:

$$\alpha_1 = \frac{h_1}{R} = \frac{P_p \operatorname{tg} \beta_1}{R} \approx \frac{P_p \beta_1}{R}. \qquad (7.1.76)$$

La fel ca și în cazul precedent, cunoscînd unghiul α_1 și mărimea pasului șurubului conducător p_{sc}, se poate determina mărimea erorii de compensare Δp_p:

$$\Delta p_p = \frac{\alpha_1}{360°} P_{sc} = \frac{p_p \beta_1 P_{sc}}{360°\, R}. \qquad (7.1.77)$$

Scanned with OKEN Scanner

Ţinînd seama de relaţia (7.1.74) şi (7.1.77) se obţine:

$$(\alpha_p - \alpha_s)(T_i - T_n) = \frac{p_p \beta_1 P_{sc}}{360^\circ R}, \tag{7.1.78}$$

din care rezultă uşor valoarea lui β_1:

$$\beta_1 = \frac{(\alpha_p - \alpha_s)(T_i - T_n)\, 360^\circ R}{P_p P_{sc}}. \tag{7.1.79}$$

7.1.1.10.7. *Prelucrarea filetului exterior prin rulare cu două role de diametre diferite.* La rularea filetului exterior cu role de diametre diferite, însă care se rotesc cu acelaşi număr de rotaţii n, axele lor de rotaţie precum şi axa de rotaţie a piesei ce se prelucrează sînt paralele.

În momentul în care piesa ce se prelucrează este introdusă între role, ea se rostogoleşte fără să alunece în jurul centrelor instantanee A şi B cu vitezele v_1 şi v_2, după cum se observă acest lucru în figura 7.1.72.

Datorită acestui fapt axa de rotaţie O, a piesei ce se prelucrează se deplasează de sus în jos cu o viteză liniară v_0:

$$v_0 = \frac{v_1 - v_2}{2} \tag{7.1.80}$$

sau:

$$v_0 = \frac{\pi n}{2}(d_{r_1} - d_{r_2}). \tag{7.1.81}$$

Unghiul elicei filetului rolelor şi al piesei ce se prelucrează trebuie să fie egal. Dacă se notează cu d_p diametrul mediu al filetului piesei ce se prelucrează, se poate în funcţie de el exprima diametrul mediu al filetului rolelor:

$$d_{r1} = K_1 d_p; \quad d_{r2} = K_2 d_p, \tag{7.1.82}$$

unde K_1 şi K_2 sînt coeficienţii corespunzători.

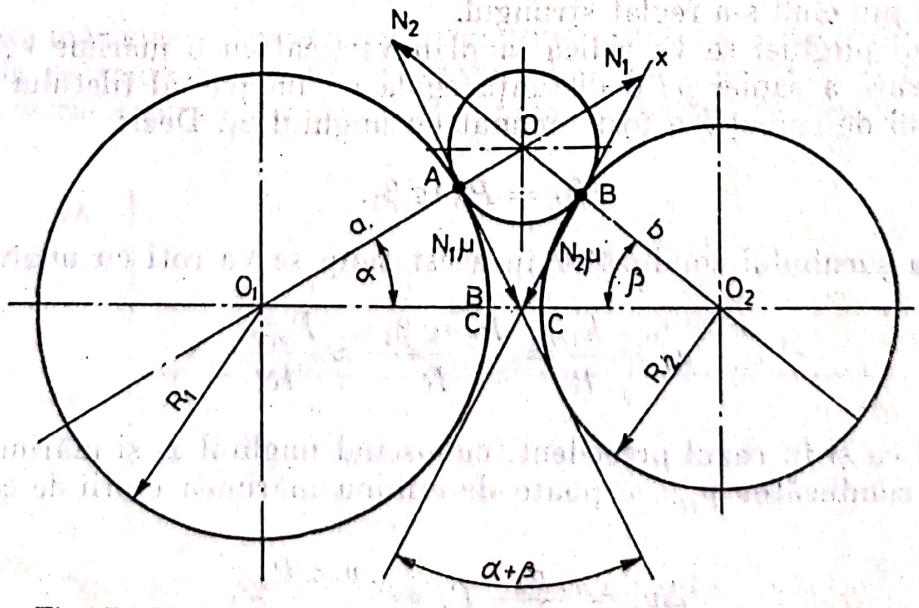


Fig. 7.1.72. Poziţia piesei în momentul introducerii între role.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă în relația (7.1.81) se introduc valorile lui d_{r1} și d_{r2} din (7.1.82), se obține:

$$v_0 = \frac{\pi n d_p}{2}(K_1 - K_2). \tag{7.1.83}$$

Viteza periferică a piesei ce se prelucrează este:

$$v_p = v_1 - v_0 = \frac{v_1 + v_2}{2}(K_1 - K_2). \tag{7.1.84}$$

După cum se vede din relația (7.1.83) viteza liniară de deplasare a axei de rotație a piesei ce se prelucrează de sus în jos printre role, viteză care determină și productivitatea prelucrării, este direct proporțională cu diferența rapoartelor dintre diametrele rolelor și diametrul piesei respective.

Numărul de rotații n_p al piesei ce se prelucrează în jurul axei sale în timpul rulării se poate determina admițînd următoarea ipoteză și anume că viteza liniară de deplasare a axei de rotație a piesei printre role, este constantă și egală cu v_0 (fig. 7.1.73).

Pe baza acestei ipoteze și avînd în vedere și faptul că diametrele rolelor sînt mult mai mari decît al piesei ce se prelucrează, se admite că arcul AB din circumferința rolei mari este o linie dreaptă (fig. 7.1.72).

Intervalul de timp τ în care are loc rularea piesei ce se prelucrează fără să alunece pe segmentul de arc AB cu lungimea egală cu l este:

$$\tau = \frac{l}{v_0}. \tag{7.1.85}$$

Dacă se introduce valoarea lui v_0 din (7.1.83) în (7.1.85) se obține:

$$\tau = \frac{2l}{\pi n d_p (K_1 - K_2)}, \tag{7.1.86}$$

Numărul de rotații n_p al piesei ce se prelucrează pe minut este $n_p = \frac{v_p}{\pi d_p}$, sau dacă în locul lui v_p se introduce valoarea acesteia din relația (7.1.84) se obține:

$$n_p = \frac{n}{2}(K_1 + K_2). \tag{7.1.87}$$

Numărul de rotații al piesei ce se prelucrează în intervalul de timp cît are loc rularea este:

$$n_{pr} = \tau_{bn} \cdot n_p = \frac{L}{\pi d_p} \frac{K_1 + K_2}{K_1 - K_2}. \tag{7.1.88}$$

Pentru ca filetul să aibă o calitate superioară și o precizie cuprinsă în limitele cîmpului de

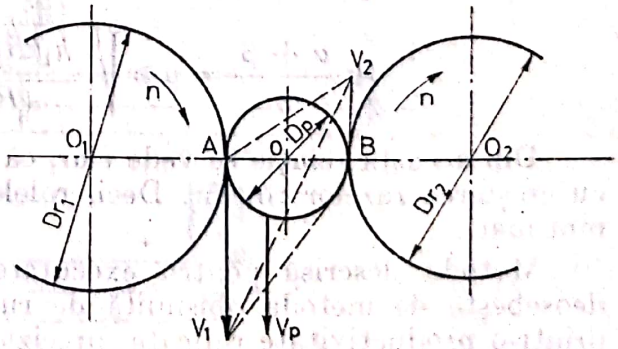


Fig. 7.1.73. Reprezentarea vectorilor viteză la deplasarea piesei printre role.

toleranță prescris, piesa ce se prelucrează trebuie să facă nu mai puțin de patru rotații în jurul axei sale în timpul rulării. În practică de obicei se ia $K_2 = (0{,}8 - 0{,}9)\, K_1$.

Pentru ca *piesa să fie prinsă* de role fără a fi nevoie de aplicarea unei forțe suplimentare este necesar ca suma proiecțiilor forțelor de frecare pe direcția deplasării piesei să fie mai mare decît proiecția pe aceeași direcție a reacțiunilor în punctele de contact. Să examinăm condiția de echilibru a sistemului forțelor de frecare și a reacțiunilor în punctele de contact. Dacă acestea se proiectează pe axa $x-x$, se obține (fig. 7.1.72):

$$\mu N_2 + \mu N_1 \cos(\alpha + \beta) - N_1 \sin(\alpha + \beta) = 0.$$

Din condiția de echilibru a momentelor în raport cu punctul O rezultă că reacțiunile în punctele de contact ale piesei cu rolele sînt egale. Rezultă deci:

$$\mu + \mu \cos(\alpha + \beta) - \sin(\alpha + \beta) = 0,$$

de unde

$$\mu = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{1 + \cos(\alpha + \beta)} = \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2}. \qquad (7.1.89)$$

La rularea filetului pe o piesă din oțel cu role tot din oțel, în cazul utilizării uleiului drept lichid de răcire ungere, coeficientul de frecare μ variază în limite foarte largi (0,05~0,2). Dacă se ia o valoare medie și anume $\mu = 0{,}1$ atunci trebuie ca $\alpha + \beta \leqslant 12°$.

În triunghiul O_1OO_2 laturile sînt egale:

$$a = R_1 + r; \quad b = R_2 + r; \quad c = R_1 + R_2 + 2r - 2h_1,$$

unde $2r = D_p$ și h_1 este înălțimea capului profilului filetului.

Se poate admite, cu o precizie destul de mare pentru practică, că diametrul mediu al filetului rulat este egal cu diametrul piesei care se prelucrează obținut în operația precedentă rulării.

Folosind formula trigonometrică pentru tangenta semisumei unghiurilor prin perimetru $p = \frac{1}{2}(a + b + c)$ se obține:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} = \sqrt{\frac{p(p-c)}{(p-a)(p-b)}} = \sqrt{\frac{h_1(R_1 + R_2 + 2r - h_1)}{(R_1 + r - h_1)(R_2 + r - h_1)}}.$$

Întrucît $R_1 - h_1 = R_{p_1}$ și $R_2 - h_1 = R_{p_2}$, condiția ca piesa ce se prelucrează să fie prinsă de role fără să alunece, se exprimă în felul următor:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} = \mu \geqslant \sqrt{\frac{h_1(Rp_1 + Rp_2 + 2r + h_1)}{(Rp_1 + r)(Rp_2 + r)}}. \qquad (7.1.80)$$

Din această relație se vede clar, că termenul de sub radical se micșorează cu creșterea razelor rolelor. Deci, rolele trebuie executate cu dimensiuni cît mai mari.

Metoda descrisă pentru executarea filetelor exterioare prin rulare se deosebește de metoda obișnuită de rulare cu role care au diametrul egal, printr-o productivitate ridicată, precizie de prelucrare și calitate a suprafeței superioare

Scanned with OKEN Scanner

Productivitatea mare a prelucrării filetelor după această metodă se realizează pe de o parte prin eliminarea curselor de mers în gol ale uneia din role (întrucît ambele role tot timpul prelucrării lotului respectiv de piese au o poziție fixă), iar pe de altă parte prin posibilitatea de automatizare completă a ciclului de lucru. Automatizarea se poate realiza prin adaptarea unei magazii cu un jgheab prin care piesele sînt conduse în poziția corespunzătoare pînă între cele două role, după cum se vede în figura 7.1.74.

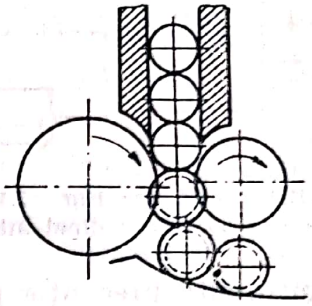


Fig. 7.1.74. Reprezentarea schematică a alimentării automate cu piese.

La prelucrarea pe astfel de mașini de rulat productivitatea ajunge de la 360—480 buc,/min la rularea filetelor M3, pînă la 30—100 buc./min la rularea filetelor M 16—M 18.

7.1.1.11. *Prelucrarea de finisare a arborilor prin rectificare.* (Rectificarea între vîrfuri, rectificarea de înaltă precizie, rectificarea rapidă, rectificarea cu adîncimi mari de așchiere.)

7.1.1.11.1. Rectificarea între vîrfuri. În ultimii 50 ani rectificarea a primit o răspîndire foarte mare în industria constructoare de mașini. Înainte această metodă de prelucrare era foarte costisitoare și se întrebuința cu exclusivitate numai la prelucrarea de finisare a pieselor călite.

Rectificarea, spre deosebire de alte metode de prelucrare fină a arborilor, poate să asigure obținerea atît a unei calități superioare a suprafeței prelucrate, cît și a unei precizii ridicate a dimensiunilor.

Rectificarea arborilor între vîrfuri se poate face după una din următoarele patru metode:

— *rectificarea cu avans longitudinal.* Această metodă este cea mai cunoscută și răspîndită. După cum se vede în figura 7.1.75, mișcarea de avans longitudinal poate să o facă fie piesa în fața discului de rectificat (fig. 7.1.75, *a*), fie discul de rectificat în lungul piesei (fig. 7.1.75, *b*). Avansul transversal pentru realizarea adîncimii de așchiere îl face discul de rectificat la fiecare sfîrșit de cursă dublă (de la 0,005 ... 0,050 mm).

Această metodă este foarte comodă pentru rectificarea arborilor drepți, întrucît timpul necesar pentru fixarea opritorilor (pentru inversarea sensului de avans) este neglijabil de mic în comparație cu timpul de bază de mașină.

La rectificarea arborilor în trepte, în producția de serie mare și masă, timpul necesar pentru reglarea opritorilor este foarte mare, îndeosebi atunci cînd adîncimea găurilor de centrare nu este egală la toți arborii din lot. În general, la rectificarea acestor arbori reglarea opritorilor trebuie să se facă

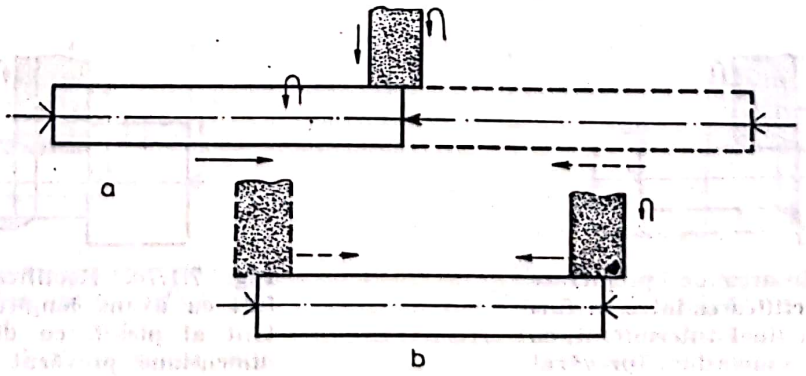


Fig. 7.1.75. Reprezentarea schematică a rectificării între vîrfuri cu avans longitudinal.

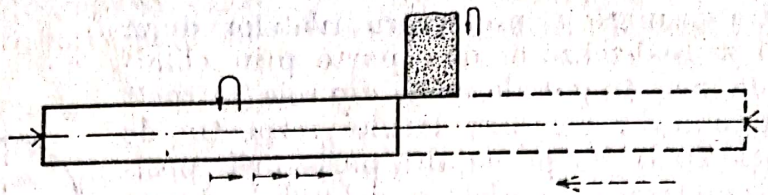


Fig. 7.1.76. Rectificarea între vîrfuri cu avans longitudinal intermitent al piesei, cu discul reglat la dimensiune.

cu multă precauție pentru că altfel fie că la capătul treptei rămîne o porțiune nerectificată, fie că discul de rectificat intră în umărul treptei și rebutează piesa sau sparge discul de rectificat.

Reglarea opritorilor la rectificarea arborilor în trepte cere muncitorilor un grad de calificare ridicat. În producția de serie mare și de masă gradul de calificare al muncitorilor în general nu trebuie să fie prea ridicat, întrucît lucrul se face pe mașini reglate la dimensiune, iar reglarea este făcută de reglori cu o înaltă calificare. Avînd în vedere acest lucru s-au căutat alte metode de rectificare, care nu necesită un grad înalt de calificare al muncitorului și anume:

— *rectificarea cu avans longitudinal cu discul de rectificat reglat la dimensiune*. După această metodă de rectificare discul de rectificat se reglează la dimensiune la diametrul nominal și dintr-o singură trecere în lungul arborelui se îndepărtează întreg adaosul de prelucrare. Avansul longitudinal nu este continuu, automat, ci manual, cu întreruperi (la fiecare două rotații ale arborelui se avansează cu 5—10 mm). După realizarea avansului longitudinal masa mașinii de rectificat se readuce în poziția inițială și pentru rectificarea arborelui următor se dă saniei portdisc o mișcare de avans transversal pentru a se compensa uzura radială a acestuia din rectificarea precedentă. Schematic această metodă este reprezentată în figura 7.1.76.

Lucrînd după această metodă, muchia din partea stîngă a discului de rectificat se uzează foarte intens întrucît aproape întreg adaosul de prelucrare este îndepărtat de granulele abrazive din această parte a discului. Pentru a crea condiții mai bune de așchiere, în sensul ca adaosul de prelucrare să fie așchiat de un număr mai mare de granule abrazive de pe suprafața așchietoare a discului, acestuia din urmă i se execută un șanfren cu un unghi de 1:20 pe o lungime de 6—12 mm în partea respectivă. În acest caz, la rectificarea unui arbore în trepte nu se poate obține pe toată lungimea treptei același diametru după cum se vede în figura 7.1.77.

Din această cauză se recurge la rectificarea în sens invers sensului indicat în figura 7.1.77, începînd rectificarea de lîngă umărul treptei, discul avînd de data aceasta șanfrenul în partea din dreapta, după cum se vede în figura 7.1.78.

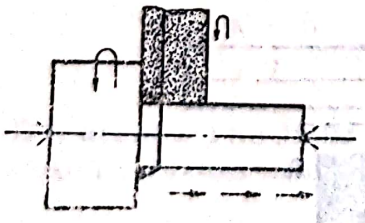


Fig. 7.1.77. Eroarea de prelucrare care apare la rectificarea între vîrfuri cu avans longitudinal intermitent, cu discul reglat la dimensiune prevăzut cu șanfren de 1:20.

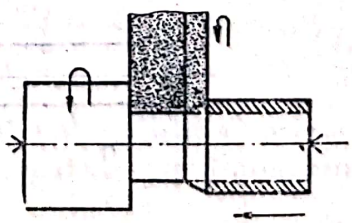


Fig. 7.1.78. Rectificarea între vîrfuri cu avans longitudinal intermitent al piesei, cu discul reglat la dimensiune prevăzut cu șanfren de 1:20, cu începerea rectificării de la umărul treptei.

Scanned with OKEN Scanner

Rectificarea după această metodă se foloseşte mai ales la rectificarea arborilor în trepte foarte rigizi (a arborilor scurţi). Adaosul de prelucrare se recomandă a fi cît se poate de mic încît componenta F_y a forţei de aşchiere să deformeze cît mai puţin sistemul tehnologic.

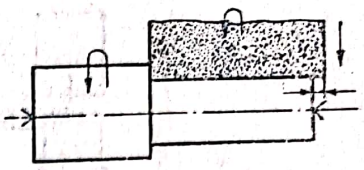


Fig. 7.1.79. Reprezentarea schematică a rectificării între vîrfuri cu avans transversal.

Rectificarea cu avans transversal. La rectificarea după această metodă lăţimea discului de rectificat trebuie să fie cu numai 3 ... 5 mm mai mare decît lungimea suprafeţei care se rectifică (fig. 7.1.79).

Pentru obţinerea diametrului prescris pe desenul piesei, discului de rectificat i se dă un avans transversal manual sau automat pînă la opritorul care decuplează avansul respectiv.

Această metodă de rectificare este utilizată în producţia de serie mare şi masă foarte mult, întrucît este cu 25—45% mai productivă decît toate celelalte metode de rectificare a arborilor între vîrfuri, descrise mai sus.

Rectificarea cu avans transversal prezintă un mare dezavantaj şi anume acela că nu poate fi utilizată cînd lungimea treptei sau în general a suprafeţei care se rectifică este cu mult mai mare sau mai mică decît lăţimea discului de rectificat. Dacă lăţimea discului este cu mult mai mare decît lungimea suprafeţei care se rectifică, atunci discul este folosit iraţional în sensul că la ascuţirea părţii uzate se îndepărtează o mare cantitate de granule abrazive care nu au aşchiat, după cum se vede în figura 7.1.80. Atunci cînd lăţimea discului de rectificat este mai mică decît lungimea suprafeţei care se rectifică, rămîne o parte din suprafaţa treptei respective nerectificată. Dacă suprafaţa rămasă nerectificată se rectifică în aceeaşi prindere, discul de rectificat se va uza mai mult pe porţiunea pe care s-a făcut rectificarea şi la rectificarea arborelui următor, pe lungimea egală cu lăţimea discului se va obţine o suprafaţă în trepte (fig. 7.1.81).

La rectificarea cu avans transversal a arborilor în trepte după metoda concentrării lucrului la un singur loc de muncă este raţional a începe cu rectificarea treptei cu diametrul cel mai mare, care se află înspre păpuşa fixă, urmînd apoi rectificarea celorlalte trepte în ordinea descrescătoare a diametrelor, aşa după cum se vede în figura 7.1.82, *a*.

Dacă rectificarea se face după schema din figura 7.1.82, *a*, timpul auxiliar consumat cu scoaterea din aşchie a discului de rectificat şi reglarea pentru rectificarea treptei următoare este mult mai mic, decît după schema din figura 7.1.82, *b*.

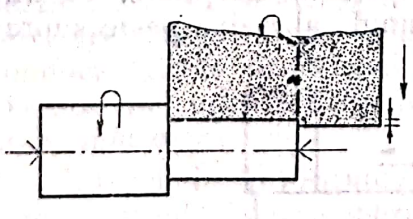


Fig. 7.1.80. Reprezentarea schematică a rectificării între vîrfuri cu avans transversal, cu un disc cu lăţimea mai mare decît lungimea suprafeţei care se prelucrează.

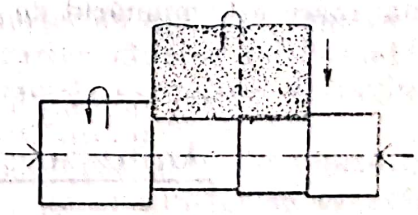


Fig. 7.1.81. Reprezentarea schematică a rectificării între vîrfuri cu avans transversal, cu un disc cu lăţimea mult mai mică decît lungimea suprafeţei care se prelucrează.

Scanned with OKEN Scanner

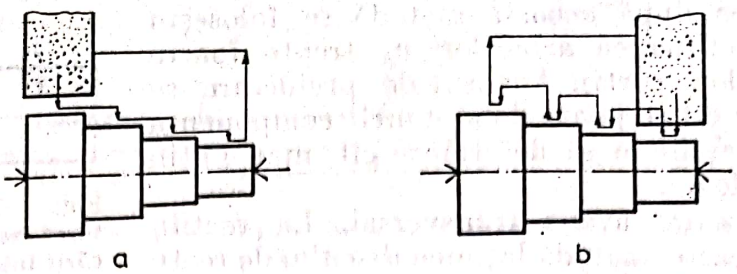


Fig. 7.1.82. Reprezentarea schematică a rectificării unui arbore în trepte, între vîrfuri, cu avans transversal:
a — raţional; *b* — iraţional.

În cazul cînd lungimea treptelor este de cîteva ori mai mare decît lăţimea discului de rectificat, se aplică o metodă combinată şi anume:

Rectificarea cu avans transversal pe segmente şi apoi cu avans longitudinal. La rectificarea unui arbore drept după această metodă timpul de maşină se reduce de două ori în comparaţie cu rectificarea numai cu avans longitudinal.

Schematic această metodă este reprezentată în figura 7.1.83.

Rectificarea arborelui după metoda enunţată se divide în două: rectificarea de degroşare care se face cu avans transversal pe segmente (fig. 7.1.83, *a*) ce se suprapun pe o lungime de 3—5 mm şi apoi rectificarea de finisare cu avans longitudinal automat (fig. 7.1.83, *b*) pentru care a fost lăsat un adaos de prelucrare de 0,02 mm, adaos care se îndepărtează prin 2—3 treceri longitudinale.

La rectificarea arborilor în trepte după această metodă discul de rectificat trebuie ales în aşa fel, încît lăţimea lui să fie un submultiplu al lungimii suprafeţei care se rectifică. Dacă nu se respectă această condiţie, atunci apar dezavantajele arătate la descrierea metodei precedente ilustrate în figurile 7.1.80 şi 7.1.81. În figura 7.1.84, *a* şi *b* este prezentată rectificarea simultană a două segmente cu avans transversal (schematic, *a* şi pe maşină, *b*).

Regimul de aşchiere la rectificare

Atît productivitatea muncii cît şi calitatea suprafeţei prelucrate sînt influenţate în mod direct de regimul de aşchiere cu care se face rectificarea.

Elementele regimului de aşchiere la rectificarea suprafeţelor de revoluţie sînt: viteza periferică a discului de rectificat, viteza periferică a piesei ce se prelucrează, avansul longitudinal şi avansul transversal.

Viteza periferică a discului de rectificat. La rectificarea obişnuită viteza discului este cuprinsă între 25—35 m/s, iar la rectificarea rapidă între 50 şi 60 m/s.

Cu cît viteza periferică a discului de rectificat este mai mare, cu atît mai mare este numărul de treceri ale fiecărei granule abrazive peste supra-

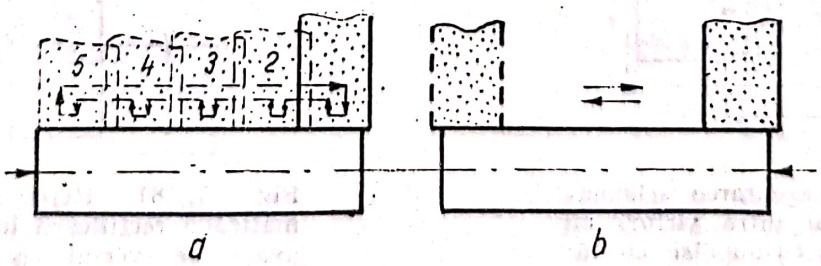


Fig. 7.1.83. Reprezentarea schematică a rectificării cu:
a — avans transversal pe segmente pînă la opritor; *b* — avans longitudinal.

Scanned with OKEN Scanner

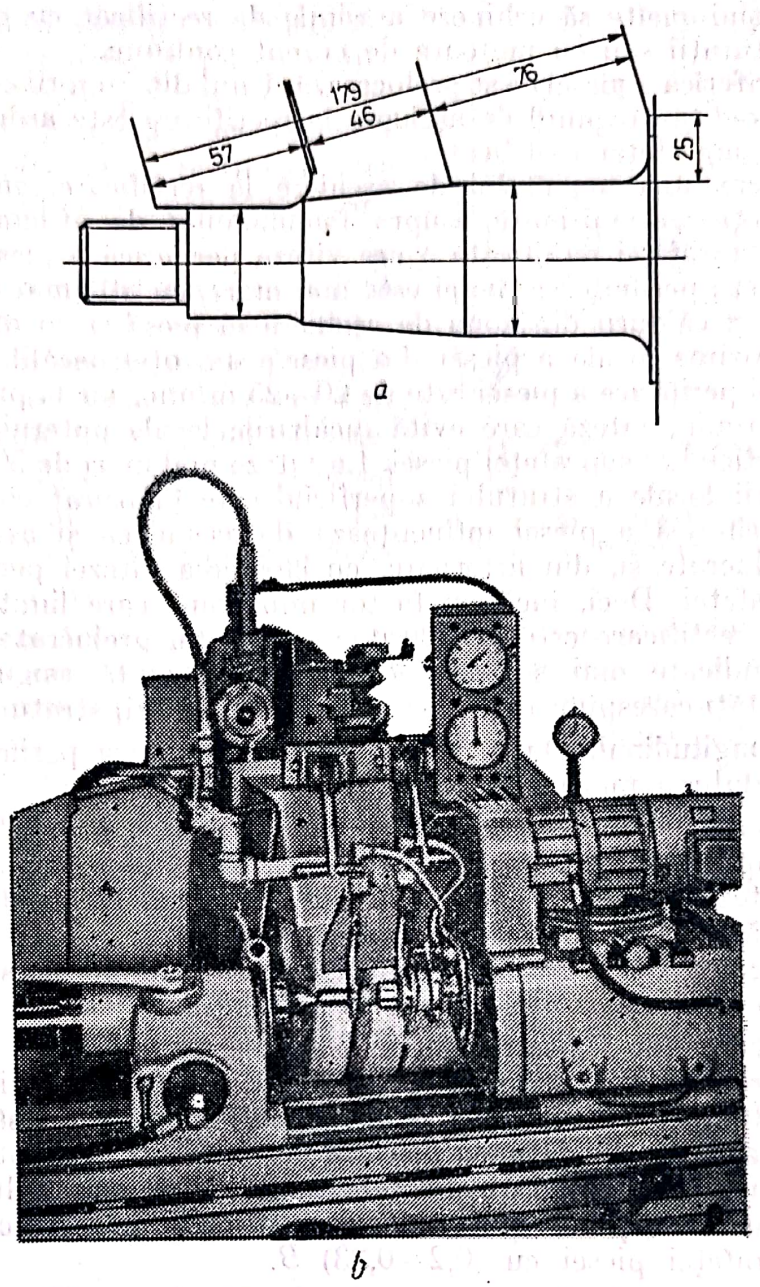


Fig. 7.1.84. Rectificarea arborilor în trepte cu avans transversal cu două discuri simultan.

faţa piesei ce se prelucrează şi cu atît mai subţiri vor fi aşchiile ce le îndepărtează. Acest lucru atrage după sine ridicarea calităţii pe de o parte a suprafeţei prelucrate, iar pe de altă parte micşorarea forţei de aşchiere, fapt care conduce atît la uzură mai mică a granulelor abrazive, cît şi la o deformaţie elastică mai mică a sistemului tehnologic şi de aici la o precizie de prelucrare mai mare.

Întrucît la majoritatea maşinilor de rectificat turaţia arborelui portdisc este constantă, viteza periferică a acestuia scade pe măsură ce se uzează, lucru care atrage după sine înrăutăţirea calităţii suprafeţei prelucrate, micşorarea preciziei de prelucrare şi micşorarea productivităţii muncii.

Nu se recomandă deci rectificarea cu viteze periferice ale discului de rectificat mai mici de 25 m/s. Pentru a se putea folosi la maximum discul de rectificat (pînă la diametrul cel mai mic posibil) se recomandă construc-

Scanned with OKEN Scanner

torilor de mașini-unelte să echipeze mașinile de rectificat cu motoare electrice cu trei turații sau cu motoare de curent continuu.

Viteza periferică a piesei ce se prelucrează. Unul din factorii cei mai importanți care îngrădește regimul de așchiere la rectificare este arderea stratului superficial al suprafeței rectificate.

Dintre elementele regimului de așchiere la rectificare, enumerate mai înainte, influența cea mai mare asupra fenomenului de ardere a stratului superficial al suprafeței rectificate o are viteza periferică a piesei.

Cu cît viteza periferică a piesei este mai mare, cu atît mai mic este timpul de trecere a căldurii din zona de așchiere în piesă și cu atît mai slabă are să fie încălzirea locală a piesei. La piesele din oțel necălit limita inferioară a vitezei periferice a piesei este de 20—25 m/min, iar la piesele din oțel călit 30—35 m/min, viteză care evită încălzirile locale puternice și arderea stratului superficial al suprafeței piesei. La viteze mai mari de 50—90 m/min, pericolul arderii locale a stratului superficial este înlăturat complet.

Viteza periferică a piesei influențează de asemenea și asupra calității suprafeței prelucrate și, din nefericire, cu creșterea vitezei periferice scade calitatea suprafeței. Deci, încă un factor important care limitează regimul de așchiere la rectificare este și calitatea suprafeței prelucrate.

Valorile indicate mai sus la rectificarea obișnuită asigură obținerea atît a unei calități corespunzătoare, cît și evitarea arderii stratului superficial.

Avansul longitudinal. După ce s-a determinat viteza periferică a piesei se trece la stabilirea mărimii avansului longitudinal.

Avansul longitudinal are aceleași influențe asupra arderii stratului superficial al suprafeței, asupra productivității și calității suprafeței prelucrate, ca și viteza periferică a piesei. În plus avansul longitudinal mai este limitat și de lățimea discului de rectificat.

La rectificarea de degroșare avansul longitudinal poate să fie pînă la (0,7—0,8) B la o rotație a piesei, unde B este lățimea discului de rectificat.

La rectificarea de finisare pentru a se asigura obținerea unei calități a suprafeței prelucrate corespunzătoare (0,8—1,4 μm) și a unei precizii geometrice ridicate trebuie ca mărimea avansului longitudinal să nu fie mai mare de a treia parte din lățimea discului de rectificat la o rotație a piesei. În acest caz muchiile discului nu sînt solicitate cu mult mai mult decît partea de mijloc a lui. La capetele cursei marginile discului de rectificat pot depăși marginile suprafeței piesei cu (0,2—0,33) B.

Avansul transversal. Creșterea productivității la rectificare este strîns legată de mărimea avansului transversal. Printre factorii care limitează mărimea avansului transversal sînt următorii: pericolul arderii stratului superficial al suprafeței prelucrate, rigiditatea sistemului tehnologic, puterea mașinii de rectificat, pericolul apariției vibrațiilor și alții. Procesul de rectificare a fiecărei piese formează un ciclu compus din trei etape: intrarea în așchie, scoaterea de așchii și în sfîrșit încetarea treptată a procesului de așchiere. Aceste trei etape sînt reprezentate grafic în figura 7.1.85.

Prima etapă, intrarea în așchie (A și D), este acea perioadă de lucru în care între discul de rectificat care începe rectificarea și piesa care se rectifică ia naștere o forță de compresiune datorită avansului transversal, forță care comprimă și deformează elastic sistemul tehnologic. Din cauza deformației elastice a sistemului tehnologic, adîncimea reală de așchiere devine mai mică decît avansul transversal la o rotație a piesei. Compresiunea care crește mereu face să crească forța de apăsare a discului de rectificat pe suprafața piesei și o dată cu creșterea ei, crește și intensitatea scoaterii de așchii

Scanned with OKEN Scanner

de pe suprafața care se rectifică. Se vede deci, că în această primă etapă de intrare în așchie procesul de scoatere de așchii (de îndepărtare de metal de pe suprafața ce se rectifică) este variabil, nestaționar, continuu crescător.

Intrarea în așchie poate să se facă cu avans transversal constant, automat, lucru care are loc într-o perioadă de timp mai mare (curbele *1* sau *1 a*) corespunzătoare intervalului *D* sau poate să se facă cu avans transversal accelerat manual, lucru care are loc într-o perioadă de timp mult mai mică (curbele *2* sau *3*).

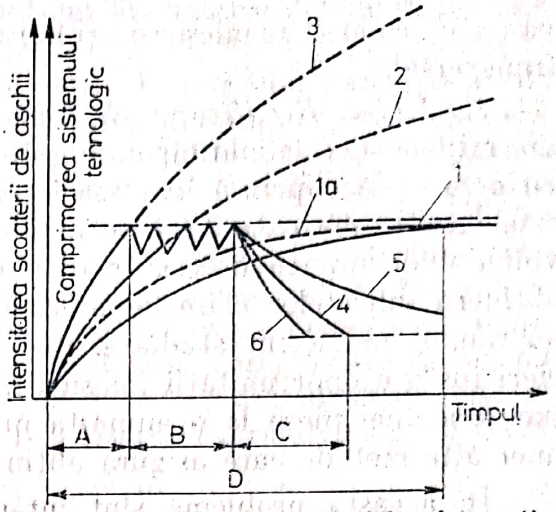


Fig. 7.1.85. Etapele unui ciclu de rectificare între vîrfuri.

Etapa următoare, scoaterea de așchii *B* începe în momentul cînd datorită compresiunii sistemului tehnologic forța de apăsare a discului de rectificat pe suprafața piesei a crescut pînă la o valoare oarecare constantă care face ca scoaterea de așchii să rămînă constantă tot timpul cît are loc avansul transversal automat.

Mărimea volumului de așchii, adică mărimea volumului de metal îndepărtat de pe suprafața piesei se realizează prin mărirea avansului transversal, prin care se mărește adîncimea de așchiere. Acest lucru este legat însă de scăderea calității suprafeței prelucrate. De aceea, nu este indiferentă valoarea avansului transversal, ci ea este funcție de calitatea suprafeței impuse. Valorile admisibile sînt date în normative.

Etapa a treia *C* este etapa în care intensitatea procesului de așchiere scade treptat și o dată cu ea scade și intensitatea scoaterii de așchii. În această perioadă comprimarea sistemului tehnologic se micșorează treptat și o dată cu ea se micșorează și forța de apăsare a discului de rectificat pe suprafața piesei, se micșorează treptat și adîncimea de așchiere, lucru ce conduce la îmbunătățirea calității suprafeței prelucrate și la ridicarea preciziei de prelucrare.

Încetarea procesului de așchiere se poate face, după cum se vede în figura 7.1.85:

1 — fără avans transversal (curba *4*);

2 — lent (curba *5*), cînd mărimea avansului transversal este mai mică decît a fost în etapa a doua;

3 — accelerat (curba *6*), cînd discul de rectificat se îndepărtează brusc de piesă.

Micșorarea comprimării sistemului tehnologic și a intensității scoaterii de așchii trebuie să se prelungească atîta timp pînă cînd se atinge calitatea suprafeței și precizia impusă. Precizia cea mai ridicată se poate obține atunci cînd prelucrarea se divide în două cicluri: degroșare și finisare, cu încetarea treptată a așchierii chiar și la rectificarea de degroșare.

În toate cazurile regimul de așchiere nu trebuie să întreacă puterea mașinii de rectificat. Dacă se constată că regimul de așchiere este prea greu,

Scanned with OKEN Scanner

va trebui ca el să se micşoreze şi în primul rînd trebuie să se micşoreze avansul transversal.

7.1.1.11.2. Rectificarea de înaltă precizie şi calitate a suprafeţei. Unul din mijloacele cele mai răspîndite de prelucrare mecanică a pieselor de maşini cu o precizie cuprinsă în clasa 6—7 şi cu o rugozitate $R_a = 1{,}6—0{,}8$ μm este rectificarea exterioară rotundă. Cu toate acestea, problemele legate de volumul de muncă necesar pentru rectificarea unei piese şi economicitatea obţinerii diferitelor clase de precizie şi rugozităţii a suprafeţelor rectificate au rămas insuficient studiate. Acest lucru îngreuiază efectuarea unei aprecieri juste a oportunităţii folosirii rectificării exterioare rotunde pentru prelucrarea unei piese la o anumită precizie şi cu o anumită rugozitate sau a unei alte metode care asigură obţinerea aceleiaşi precizii şi rugozităţi.

În această problemă sînt interesante studiile făcute în [96] din care rezultă că la rectificarea exterioară rotundă între vîrfuri o dată cu creşterea preciziei de prelucrare de la 0,025 la 0,006 mm costul rectificării creşte cu 40%, iar cu micşorarea rugozităţii de la $R_a = 1{,}6$ μm la $R_a = 0{,}8$ μm cheltuielile cresc cu 25—35%, după cum se vede în diagrama din figura 7.1.86. La rectificarea exterioară rotundă fără vîrfuri, o dată cu creşterea preciziei de la 0,025 la 0,0075 mm cheltuielile cresc cu 40—60% la rectificarea cu avans longitudinal (fig. 7.1.87), pe cîtă vreme, la rectificarea cu avans transversal cheltuielile sînt de două ori mai mari.

Din studiile făcute în [96] reiese că la rectificarea de finisare cu un disc de rectificat cu granulaţia 60, o dată cu creşterea volumului de metal îndepărtat în unitatea de timp, se înrăutăţeşte calitatea suprafeţei rectificate şi scade costul prelucrării, cu toate că într-o măsură oarecare cresc cheltuielile

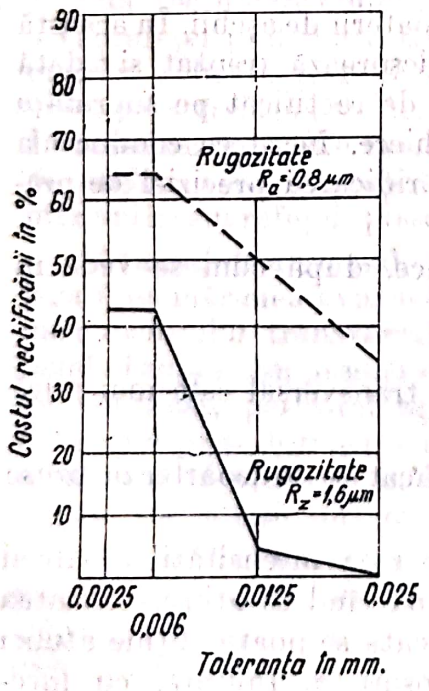


Fig 7.1.86. Variaţia costului prelucrării prin rectificare, în funcţie de toleranţa dimensiunii şi de rugozitatea suprafeţei.

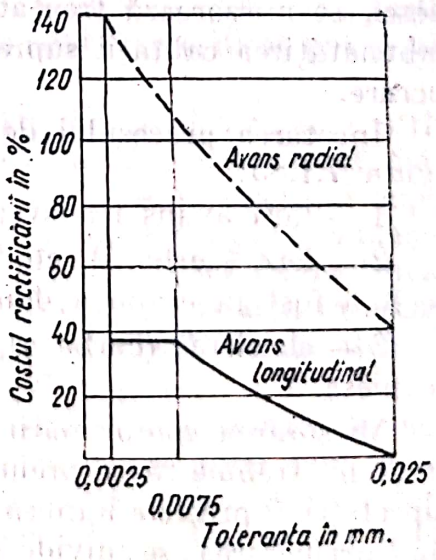


Fig. 7.1.87. Variaţia costului prelucrării prin rectificare fără vîrfuri, în funcţie de toleranţa dimensiunii şi felul avansului.

Scanned with OKEN Scanner

legate de discul abraziv. Acest lucru se vede în diagramele din figurile 7.1.88 și 7.1.89.

Calitatea suprafeței rectificate într-o măsură mare este funcție și de granulația discului de rectificat. Granulația discului abraziv se caracterizează prin distanța dintre granulele abrazive. La rîndul ei, această distanță este funcție de mărimea granulelor și structura lor. La discurile abrazive cu granulație mare, distanța dintre granule fiind mare, grosimea așchiilor îndepărtate de o granulă abrazivă este mare, ceea ce conduce la înrăutățirea suprafeței rectificate. Rezultă deci, că la rectificarea fină trebuie să se utilizeze discuri de rectificat cu granulație mică. În urma cercetărilor experimentale rezultatele obținute confirmă cele de mai sus. Astfel de exemplu, la rectificarea cu discuri de rectificat cu diferite granulații s-au obținut următoarele rezultate în ceea ce privește rugozitatea suprafețelor rectificate:

Granulația discului	25	16	12
Înălțimea microasperităților R_z	2,2	1,5	0,7

Rezultă deci că, la trecerea de la un disc de rectificat cu granulația 25 la unul cu granulația 12, calitatea suprafeței se îmbunătățește, ajungînd din clasa 8 în clasa 6 de netezime.

Pentru rectificarea fină se utilizează discuri cu duritatea M 3, CM 1, CM 2 cu structura 5.

Asupra calității suprafeței rectificate într-o măsură foarte mare influențează gradul de îmbîcsire al porilor discului și cel de uzură al granulelor abrazive. Îndepărtarea stratului îmbîcsit și a granulelor abrazive de pe suprafața activă a discului abraziv se face cu diamantul. Ascuțirea discului cu diamantul trebuie să se facă înainte de a se observa îmbîcsirea și uzura granulelor abrazive.

Modul în care se face ascuțirea discului abraziv cu diamantul are o deosebită importanță pentru calitatea suprafeței rectificate.

Înainte de a trece la analiza modului de ascuțire a discului abraziv este necesar a se arăta, că mărimea cristalului de diamant depinde de dimensiunile discului de rectificat. Pentru discul cu diametrul pînă la 300 mm se utilizează cristale de diamant cu greutatea de 0,75 carate. Cristalul trebuie introdus în orificiul din suportul său 3/4 din lungimea lui, iar axa cristalului trebuie să corespundă cu axa suportului. Pentru a crea un unghi de așezare corespunzător, creionul de diamant se fixează pe masa mașinii de

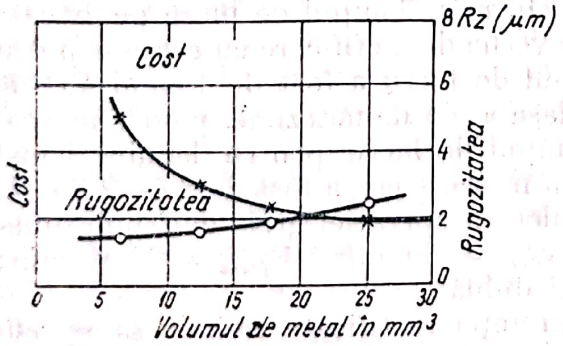


Fig. 7.1.88. Variația costului și a rugozității suprafeței în funcție de volumul de metal îndepărtat.

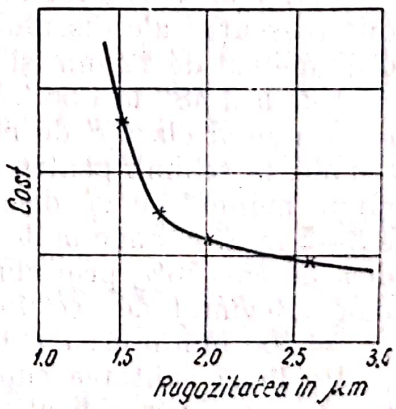


Fig. 7.1.89. Variația costului în funcție de rugozitatea suprafeței rectificate.

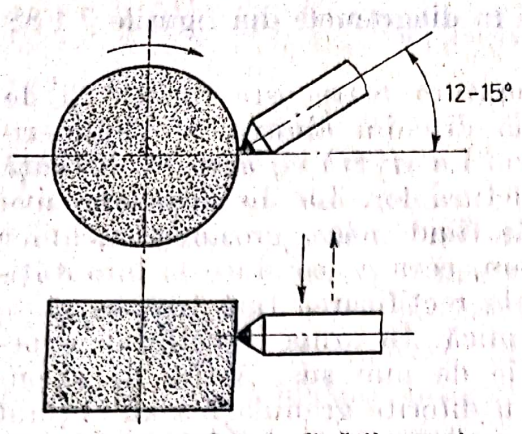


Fig. 7.1.90. Schema fixării corecte a creionului de diamant.

rectificat înclinat sub un unghi de 12—15° (după cum se vede în figura 7.1.90). Din experiența rectificării fine, rezultă că avansul longitudinal al diamantului nu trebuie să fie mai mare decît 0,01—0,02 mm/rot. a discului, iar avansul transversal la prima trecere mai mic de 0,03 mm, pentru ca la ultima trecere să fie de 0,005 mm. Ascuțirea trebuie să se facă cu un *avans automat* și cu răcire abundentă cu lichid de răcire-ungere.

Experimental s-a constatat că discul ascuțit cu regimul indicat mai sus asigură obținerea unei calități superioare a suprafeței prelucrate chiar și atunci cînd se utilizează discuri de rectificat cu granulație de 40—25. Acest lucru se datorește faptului că la ascuțirea cu avans longitudinal mic fiecare granulă abrazivă de pe suprafața activă a discului se întîlnește cu diamantul de cîteva ori, ceea ce face ca pe granula respectivă să se formeze cîțiva dinți mărunți (fini) ascuțiți și în felul acesta un disc abraziv cu granulație mare devine la fel ca unul cu granulație fină.

Pentru a obține o astfel de calitate a discului de rectificat este bine ca mai întîi să se facă o ascuțire de degroșare cu un avans longitudinal pe 0,3—0,4 mm/rot a discului și cu adîncimea de 0,02 mm, iar ascuțirea de finisare să se facă cu avansul longitudinal de 0,01—0,02 mm/rot a discului și cu adîncimea de așchiere de 0,005 mm. Ascuțirea de finisare este bine să se facă dintr-o singură trecere și într-un singur sens.

La rectificarea cu un disc ascuțit cu regimul indicat se obține o calitate a suprafeței cuprinsă în clasa 6—7 de netezime.

Este necesar să se arate însă că la mașinile de rectificat obișnuite nu se poate realiza regimul de îndreptare indicat, întrucît avansul longitudinal cel mai mic al acestor mașini este de 100—200 mm/min, față de 20—40 mm/min cît este necesar pentru a avea 0,01—0,02 mm/rot a discului. De aceea, trebuie ca la mașinile de rectificat obișnuite să se adapteze un reductor simplu.

Aplicarea în practică a acestei metode de rectificare cu îndreptarea fină a discului de rectificat cu diamantul care asigură obținerea unei calități superioare suprafeței prelucrate are și un mare efect economic.

Astfel de exemplu, la rectificarea cu o rugozitate ($R_a = 0{,}1$ μm) între două reascuțiri ale discului de rectificat, s-au putut rectifica 63 bucăți piese cu diametrul de 12 mm și lungimea de 210 mm. Timpul de lucru pe bucată a fost de la 1′48″ la 1′56″. După metoda veche de rectificare cu care s-a putut obține numai clasa 8 de netezime, timpul de lucru a fost de numai 45—46 secunde, în schimb pentru a se obține clasa a 5-a de netezime, piesele au fost lepuite manual cu un disc de pîslă. Timpul de lucru pentru lepuire a fost de 3—5 min. Economia de timp realizată în acest caz a fost de 2,4—2,5 min, adică de 45—50% prin eliminarea completă a operației grele de lepuire manuală. Regimul de rectificare a fost $v_{disc} = 30$ m/s; $V_{piesă} = 33$ m/min; $s_{long} = 500$ mm/min; $t = 0{,}01$ mm/cursă dublă.

Pe lîngă calitatea superioară a suprafeței rectificate trebuie să se asigure și o precizie ridicată a dimensiunilor, întrucît tehnica modernă ridică tot mai mult pretențiile în ceea ce privește calitatea suprafeței și precizia de prelucrare a pieselor de mașini.

Scanned with OKEN Scanner

Precizia de prelucrare cuprinsă în clasa a 7-a şi a 6-a, care se obţine la rectificarea după metoda obişnuită într-un mare număr de cazuri nu mai este satisfăcătoare. A apărut necesitatea executării pieselor cu precizie de 0,002—0,003 mm. O astfel de precizie de prelucrare pînă în ultimii ani era obţinută prin lepuire sau rodare manuală sau semimecanică. Această metodă datorită dezvoltării impetuoase a producţiei nu a mai fost satisfăcătoare şi a fost necesară găsirea unor metode care să asigure obţinerea acestei precizii pe maşinile obişnuite. Una din aceste metode este rectificarea cu precizie înaltă care asigură obţinerea unei toleranţe de 0,002—0,003 mm la diametru şi 0,001—0,002 mm la ovalitate şi conicitate.

Principiul acestei metode constă în folosirea posibilităţii discului abraziv de a îndepărta de pe suprafaţa piesei straturi mici de metal cu o grosime de 0,0005 mm, precum şi în folosirea deformaţiilor, respectiv a compresiunilor elastice ale sistemului tehnologic maşină-unealtă-piesă-sculă, întrucît mecanismul de avans transversal al maşinilor de rectificat prezintă inerţii şi nu dă posibilitatea de a regla la dimensiune discul de rectificat cu precizia necesară de 0,005—0,001 mm.

Discurile abrazive existente cu o duritate cuprinsă în limitele M3—CM 1 şi granulaţia 80—100 cu liant ceramic permit îndepărtarea unor astfel de straturi subţiri de metal.

În decursul practicii, s-a observat că sub influenţa compresiunilor elastice ale sistemului tehnologic maşină-unealtă-piesă-sculă (disc de rectificat) la unele maşini de rectificat la prelucrarea unora şi aceloraşi piese (sau a pieselor cu aceeaşi rigiditate) elementele disc de rectificat-piesă sau deplasări relative transversale cu mărimi constante, deplasări care determină mărimea dimensiunilor pieselor care se prelucrează. Datorită acestui lucru în timpul trecerilor fără avans transversal, la fiecare trecere discul de rectificat îndepărtează un strat de metal de pe suprafaţa piesei respective bine determinat şi constant ca mărime de ordinul 0,0005—0,001 mm, ceea ce face posibilă corectarea dimensiunii, în mod practic cu orice mărime, prin determinarea numărului acestor treceri.

Regimul de lucru la rectificarea după această metodă este următorul: $v_{disc} = 20—30$ m/s; $v_{piesă} = 10—30$ m/min; $s_{long} = (0{,}1—0{,}3)B$ mm/rot (sau 110 ... 700 mm/min), unde B este lăţimea discului. Avansul transversal se realizează în aşa fel, încît cea mai mare parte din adaosul de prelucrare să se îndepărteze din cîteva treceri, micşorînd la fiecare trecere mărimea avansului transversal. Atunci cînd se vede că după gradaţiile tamburului gradat au mai rămas 0,01—0,02 mm pe diametru se opreşte avansul transversal fără însă a se opri şi avansul longitudinal. După aceea, se opreşte prelucrarea, lăsînd în aceeaşi poziţie sania transversală a maşinii (fără a o deplasa transversal), pentru a se păstra compresiunea elastică a sistemului tehnologic creat în timpul prelucrării. În urma măsurării diametrului piesei, în funcţie de mărimea stratului de metal care mai trebuie îndepărtat, se determină numărul de treceri care trebuie făcut fără avans transversal, muncitorul ştiind cît se îndepărtează la o trecere. Prelucrarea în continuare se face numai datorită compresiunii elastice a sistemului tehnologic.

Această metodă se aplică atunci cînd precizia arborilor care se impune este de 2—3 ori mai ridicată decît precizia corespunzătoare clasei a 7-a de precizie.

Rectificarea de înaltă precizie se poate realiza pe maşinile existente de rectificat, de la care însă se cere să îndeplinească următoarele condiţii:

— toate elementele maşinii care se rotesc să fie perfect echilibrate;

— vîrfurile celor două păpuşi trebuie să fie perfect coaxiale;

Scanned with OKEN Scanner

— curelele de transmisie trebuie să fie subțiri, foarte elastice și fără cusături;

— ovalitatea suprafețelor arborelui principal cu care se reazemă în lagăre trebuie să nu fie mai mare de 0,001 mm;

— abaterea de la liniaritatea ghidajelor batiului să nu fie mai mare de 0,002 pe o lungime de 200 mm.

7.1.1.11.3. Rectificarea rapidă a arborilor. În ultimul timp în multe țări cu un nivel al tehnicii ridicat se aplică tot mai mult rectificarea rapidă, atît exterioară cît și interioară.

Deosebirea esențială între rectificarea obișnuită și rectificarea rapidă constă în ceea ce privește viteza periferică a discului de rectificat, a piesei care se prelucrează, calitatea suprafeței, precizia de prelucrare dimensională și geometrică, precum și productivitatea.

Viteza periferică a discului de rectificat la rectificarea rapidă este de 50—60 m/s, pe cîtă vreme la rectificarea obișnuită este de 25—20 m/s.

Viteza periferică a piesei care se prelucrează la rectificarea rapidă este de 40—50 m/min, adică de 1,5—2 ori mai mare decît la rectificarea obișnuită. La rectificarea pieselor grele, viteza lor periferică poate fi numai de 15—25 m/min. Explicația fenomenului care duce la ridicarea calității suprafeței prelucrate a fost dată la pagina 407 (regimul de așchiere la rectificare).

Dacă nu se impune ridicarea calității suprafeței, atunci datorită numărului mai mare de granule abrazive care așchiază în unitatea de timp, se poate mări avansul radial și longitudinal, lucru care duce la mărirea productivității.

Deci, prin rectificarea rapidă se poate obține:

1 — mărirea productivității muncii prin mărirea proporțională a avansului;

2 — îmbunătățirea calității suprafeței la lucrul fără mărirea avansului;

3 — la lucrul cu o mărire oarecare a avansului atît creșterea productivității cît și îmbunătățirea calității suprafeței.

După cum s-a arătat mai sus, în timpul procesului de rectificare rapidă așchiază un număr foarte mare de granule abrazive în unitatea de timp.

Forța de așchiere care acționează asupra unei singure granule se transmite asupra întregului disc de rectificat.

Componenta tangențială F_z a forței de așchiere se determină după următoarea relație:

$$F_z = ps_{ma}, \tag{7.1.81}$$

unde p este presiunea specifică de așchiere, în N/mm²; s_{ma} — secțiunea medie a așchiei, în mm².

$$s_{ma} = \frac{v_p s_l t}{60 \cdot v_d}, \tag{7.1.82}$$

în care v_p este viteza periferică a piesei, în m/min; v_d — viteza periferică a discului de rectificat, în m/s; s_l — avansul longitudinal, în mm/rot; t — adîncimea de așchiere, în mm.

Atunci, rezultă că:

$$F_z = \frac{pv_p s_l t}{60 \cdot V_a}. \tag{7.1.83}$$

Din această relație se vede că o dată cu mărirea vitezei periferice a discului de rectificat se micșorează componenta F_z, iar întrucît între F_z și F_y

Scanned with OKEN Scanner

există următoarea dependență: $F_z = (1{,}5-3)F_y$ rezultă că se micșorează și componenta radială F_y.

Datorită micșorării componentei F_y a forței de așchiere se micșorează mult și deformația elastică a sistemului tehnologic mașină-unealtă-piesă-sculă. Acest lucru, așa cum s-a mai arătat, duce la mărirea preciziei de prelucrare dimensională și geometrică a piesei care se prelucrează.

Este necesar să se sublinieze faptul că la rectificarea rapidă, chiar dacă nu se mărește avansul transversal, se poate mări productivitatea cu 5—20% datorită tocmai micșorării deformației elastice a sistemului tehnologic.

La rectificarea cu viteze mari de așchiere, uzura discului de rectificat se micșorează mult în comparație cu uzura la rectificarea obișnuită și în consecință se mărește durabilitatea lui. Acest lucru se explică în parte prin aceea că o dată cu mărirea vitezei de așchiere grosimea așchiei îndepărtată de o granulă abrazivă și deci și sarcina la care este ea supusă se micșorează.

Pentru a se demonstra acest lucru se determină volumul de metal îndepărtat de o granulă abrazivă cu variația vitezei de așchiere. Volumul de metal (în mm^3), îndepărtat de discul de rectificat într-un minut la rectificarea cu avans transversal se poate exprima prin relația:

$$Q = \pi d_p l_p t n_p, \tag{7.1.84}$$

în care d_p este diametrul suprafeței arborelui care se rectifică, în mm; l_p — lungimea suprafeței respective, în mm; t — grosimea de așchiere, egală cu avansul transversal, în mm; n_p — numărul de rotații al piesei pe minut.

Se poate exprima îndepărtarea de metal de către discul de rectificat într-un minut și într-o altă formă. Se notează volumul elementar de metal îndepărtat de granulă abrazivă cu q_m, iar volumul de metal îndepărtat de toate granulele într-un minut cu Q_1. În acest caz:

$$Q_1 = q_m N_g k, \tag{7.1.85}$$

în care: N_g este numărul de granule abrazive ale discului care așchiază într-un minut; k — coeficient care ține seama de faptul că unele granule abrazive nu așchiază, traiectoria lor fiind aceeași ca a unor granule care au așchiat în momentul precedent.

Se presupune că pe un mm^2 din suprafața discului de rectificat se găsește un număr ξ_g de granule. Atunci numărul de granule care așchiază în decurs de un minut este:

$$N_g = \pi d_d l_d \xi_g n_d, \tag{7.1.86}$$

unde d_d este diametrul discului de rectificat, în mm; l_d — lățimea discului, în mm; n_d — numărul de rotații pe minut al discului de rectificat.

Întrucît $Q = Q_1$, rezultă:

$$n_p \pi d_p t l_p = q_m \pi d_d l_d \xi_g n_d k. \tag{7.1.87}$$

Rectificarea făcîndu-se cu avans transversal, se poate considera lățimea discului egală cu lungimea suprafeței care se rectifică a arborelui, adică $l_d = l_p$.

Relația de mai sus se poate scrie în acest caz:

$$n_p \pi d_p t = q_m \pi d_d \xi_g n_d k \tag{7.1.88}$$

sau

$$t v_p = q_m \xi_g k \, 60 \, v_d, \tag{7.1.89}$$

unde după cum se știe v_d este viteza periferică a discului de rectificat, în m/s; v_p — viteza periferică a piesei, în m/min.

Scanned with OKEN Scanner

Din relaţia (7.1.89) se poate scrie că:

$$q_m = \frac{tv_p}{60\, v_d \xi_g k}. \qquad (7.1.90)$$

Din această relaţie se vede că o dată cu mărirea vitezei periferice a discului de rectificat se micşorează volumul elementar de metal îndepărtat de o singură granulă abrazivă a discului de rectificat, se micşorează de asemenea secţiunea aşchiei, precum şi forţa de aşchiere şi deci uzura granulei abrazive. Însă această micşorare a volumului elementar de metal îndepărtat de o granulă abrazivă are loc o dată cu mărirea cantităţii totale de metal îndepărtat într-un minut de întreg discul de rectificat (la rectificarea rapidă), întrucît granulele abrazive care se găsesc pe suprafaţa activă de lucru a discului în acest timp reuşesc să îndepărteze o cantitate mai mare de metal. Întrucît forţa care acţionează asupra granulei abrazive la rectificarea rapidă se micşorează, liantul chiar dacă nu este suficient de dur (în stare statică) este capabil să lege destul de tare granula abrazivă în procesul de înfigere în metal şi astfel discul lucrează ca şi cum ar fi un disc foarte dur. Acest fenomen se numeşte *duritate dinamică*.

Uzura discului de rectificat cu mărirea vitezei periferice a lui se micşorează în medie cu 30—40%.

Este necesar să se facă remarca, că pe măsură ce discul de rectificat se uzează, se micşorează viteza lui periferică, întrucît maşinile de rectificat nu sînt echipate cu motoare electrice de curent continuu sau cu variatoare continue. În practică se admite o micşorare a diametrului discului de rectificat prin uzură, pînă la 0,65 din diametrul lui iniţial, în care caz viteza periferică a discului se micşorează cu 35%. Cu micşorarea vitezei periferice a discului, încărcarea pe fiecare granulă abrazivă creşte. Discul pierde duritatea dinamică şi de aceea uzura lui se măreşte. Se vede deci că, consumul specific de material abraziv în timpul lucrului pînă la uzura admisibilă nu este constant. Utilizînd la rectificarea rapidă discuri moi pe considerentul obţinerii durităţii dinamice, se obţine o uzură mare pe măsura micşorării diametrului.

La rectificarea rapidă puterea motorului electric se schimbă.

Astfel, puterea de antrenare P a discului abraziv la rectificarea obişnuită este:

$$P^{\circ}_{tot} = P^{\circ}_{mg} + P^{\circ}_{rect}, \qquad (7.1.91)$$

unde P°_{mg} este puterea necesară la mersul în gol la rectificarea obişnuită, în CP; P°_{rect} — puterea necesară pentru rectificarea obişnuită, în CP.

$$P^{\circ}_{mg} = \frac{M^{\circ}_{tmg} n^{\circ}_{d}}{71\,620}; \qquad (7.1.92)$$

$$N^{\circ}_{rect} = \frac{M^{\circ}_{t\,rect}\, n^{\circ}_{d}}{71\,620}. \qquad (7.1.93)$$

Deci:

$$P^{\circ}_{tot} = \frac{M^{\circ}_{tmg}\, n^{\circ}_{d}}{71\,620} + \frac{M^{\circ}_{t\,rect}\, n^{\circ}_{d}}{71\,620}, \qquad (7.1.94)$$

unde: M_{tmg} este momentul de rotire la mersul în gol, în Ncm; $M^{\circ}_{t\,rect}$ — momentul de rotire la rectificare, în Ncm; n°_{d} — turaţia discului de rectificat.

Scanned with OKEN Scanner

Întrucît:

$$M^{\circ}_{t\,rect} = \frac{F^{\circ}_{z} d_d}{2}; \tag{7.1.95}$$

$$F_z = \frac{p^{\circ} v_p s_l t}{60\, v_d}, \tag{7.1.96}$$

rezultă că:

$$P^{\circ}_{t\,rect} = \frac{p^{\circ} v_p s_l t}{2\pi\, 71{,}62} \cdot \frac{10^3}{1{,}36}. \tag{7.1.97}$$

Deci, la lucrul cu regimuri de aşchiere constante, puterea pentru rectificare este funcţie de presiunea specifică de aşchiere. La rîndul ei p este funcţie de mărimea aşchiei; cu cît aceasta este mai mică cu atît p este mai mare, iar întrucît cu mărirea vitezei periferice a discului de rectificat, la rectificarea rapidă, se îndepărtează aşchii mai mici, are loc o mărire a puterii de rectificare.

În acelaşi timp are loc o creştere şi a puterii la mersul în gol care la rectificarea obişnuită cu n°_d rotaţii ale discului de rectificat este egală, după cum s-a arătat cu:

$$P^{\circ}_{mg} = \frac{M^{\circ}_{tmg}\, n^{\circ}_d}{71{,}62 \cdot 1{,}36}. \tag{7.1.98}$$

La mărirea numărului de rotaţii a discului de rectificat de la n°_d la n^{r}_d, puterea la mersul în gol devine:

$$P^{r}_{mg} = \frac{M^{\circ}_{tmg}\, n^{r}_d}{71{,}62 \cdot 1{,}36}. \tag{7.1.99}$$

Momentul de rotire la mersul în gol M°_{tmg} a rămas neschimbat, iar puterea totală necesară va fi egală în acest caz cu:

$$P^{r}_{tot} = \frac{M^{\circ}_{tmg}\, n^{r}_d}{71{,}62 \cdot 1{,}36} + \frac{p^{r} v_p s_l\, 10^3}{2\pi\, 71{,}62 \cdot 1{,}36}, \text{ kW}, \tag{7.1.100}$$

unde n_d este numărul mărit de rotaţii al discului la rectificarea rapidă, în rot/min; p^r — presiunea specifică de aşchiere la rectificarea rapidă, în N/mm^2.

Se poate spune deci, că n^{r}_d fiind mai mare decît n°_d precum şi $p^r < p^{\circ}$, la rectificarea rapidă are loc mărirea consumului de putere pe seama măririi puterii la mersul în gol şi a celei necesară pentru aşchiere.

Puterea motorului electric necesară pentru antrenarea discului de rectificat la rectificarea rapidă creşte în medie cu 50% faţă de cea necesară la rectificarea obişnuită.

Au fost făcute de asemenea studii experimentale pentru a se constata dependenţa calităţii suprafeţei (a înălţimii microasperităţilor) de viteza periferică a discului de rectificat, de viteza periferică a piesei care se prelucrează şi de mărirea avansului transversal pe minut.

S-au constatat următoarele:

— cu mărirea vitezei periferice a discului de rectificat scade înălţimea microasperităţilor suprafeţei rectificate;

— cu mărirea vitezei periferice a piesei la rectificarea cu un avans transversal constant, înălţimea microasperităţilor creşte simţitor;

— cu mărirea avansului transversal adică a lui t la lucrul cu $v_d = ct$ şi $v_p = ct$, înălţimea microasperităţilor creşte relativ mult.

Scanned with OKEN Scanner

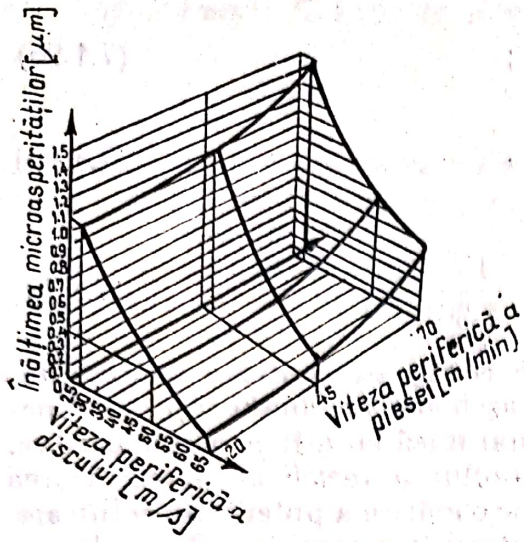


Fig. 7.1.91. Diagrama spațială a dependenței înălțimii microasperităților de viteza periferică a discului de rectificat și a piesei care se prelucrează.

În diagrama spațială din figura 7.1.91 este reprezentată dependența calității suprafeței rectificate funcție de viteza periferică a discului de rectificat și a piesei, la rectificarea cu un avans transversal constant.

Această nouă metodă tehnologică modernă de rectificare rapidă se poate înrădăcina și în industria noastră constructoare de mașini, mai ales că nu este necesar a se lua măsuri deosebite pentru acest lucru. În cele ce urmează se indică măsurile respective.

1. La trecerea pe mașinile existente de rectificat exterior cilindric, pentru rectificarea rapidă va trebui mărită puterea motorului electric pentru antrenarea discului de rectificat în medie cu 50%.

2. Va trebui asigurată o ungere cît mai bună a lagărelor arborelui principal al mașinii de rectificat (a arborelui port-disc de rectificat), întrucît se mărește viteza de alunecare din lagăre, o dată cu mărirea vitezei periferice a fusului în lagăr.

Lagărele în general nu trebuie modificate, întrucît la mașinile de rectificat existente ele s-au proiectat pentru o viteză de alunecare egală cu 10 m. La trecerea de la rectificarea obișnuită la rectificarea rapidă, viteza de alunecare în lagăre, dacă de exemplu diametrul fusului din lagăr este $d_f = 70$ mm, iar $v_d = 50$ m/s, devine:

$$n_f = \frac{v_d \cdot 60 \cdot 1\,000}{\pi D_d} = \frac{50 \cdot 60 \cdot 1\,000}{3{,}14 \cdot 400} = 2\,380 \text{ rot/min},$$

unde D_d este diametrul exterior al discului de rectificat.
Deci:

$$v_f = \frac{\pi d_f n_f}{60 \cdot 1\,000} = \frac{3{,}14 \cdot 70 \cdot 2\,380}{60 \cdot 1\,000} = 8{,}74 \text{ m/s}.$$

După cum se vede, viteza de alunecare din lagăre la rectificarea rapidă cu 50 m/s este mai mică decît viteza de alunecare admisibilă pentru care au fost proiectate inițial lagărele.

3. Pentru a se asigura protecția muncitorului în cazul spargerii discului va trebui îmbunătățită carcasa discului de rectificat, în sensul ca pereții ei să se confecționeze din tablă sudată și anume:

— pereții laterali din tablă cu o grosime de 8—10 mm;

— peretele exterior din tablă cu o grosime de 13—17 mm.

4. Va trebui să se mărească debitul de lichid de răcire-ungere cam de 2 ori în comparație cu cel care se consumă la rectificarea obișnuită sau să se prevadă la mașină o instalație pentru pulverizarea lichidului.

5. Vor trebui luate măsuri pentru păstrarea în bune condițiuni a discurilor de rectificat. Ele trebuie ferite de umezeală, îngheț și de lovituri.

Scanned with OKEN Scanner

La rectificarea rapidă cu avans longitudinal se recomandă a se lucra cu un avans egal cu 1—2 mm/rot a piesei și cu o adîncime de așchiat de 0,03—0,06 mm la o trecere dublă.

Și într-un caz și în altul, îndreptarea discului de rectificat cu diamantul trebuie să se facă cu un avans de 0,005—0,01 mm/rot. La îndreptare se recomandă ca viteza discului de rectificat să fie cam 40 m/min, acest lucru duce la crearea unor condiții mai bune de lucru pentru diamant.

Avansurile radiale și longitudinale pot fi utilizate cele existente la mașini, nefiind nevoie a face nici un fel de modernizări în această privință.

După cîte reiese din cele de mai sus, această metodă modernă de rectificare poate fi aplicată în toate uzinele noastre constructoare de mașini.

7.1.1.11.4. *Rectificarea cu adîncimi mari de așchiere.* Rectificarea cu adîncimi mari de așchiere de 5 mm și chiar mai mult se aplică cu succes în locul procedeelor clasice de degroșare prin frezare sau strunjire în operații de degroșare.

La rectificarea după această metodă viteza discului abraziv este mai mică decît la rectificarea „clasică", fiind de numai 20—25 m/s, iar avansul de lucru este și el mai mic.

Dimensiunile așchiilor prelevate de fiecare granulă abrazivă sînt mult mai mari decît cele prelevate la rectificarea clasică; forma așchiilor este asemănătoare cu cea pe care o au așchiile prelevate prin frezare.

Datorită dimensiunilor mari ale așchiilor, se impune necesitatea ca spațiul dintre granulele abrazive să fie suficient de mare, pentru ca așchiile să poată fi cuprinse în spațiul respectiv, pentru a se evita îmbîcsirea discului. Rezultă deci, că discul abraziv trebuie să aibă o granulație mare.

De asemenea, pentru a se evita „arderea" sau decarburarea stratului superficial al suprafeței rectificate, discul abraziv trebuie să aibă o duritate mai mică decît cel utilizat la rectificarea clasică, pentru a se asigura autoascuțirea discului, care se realizează prin smulgerea granulelor din liant, atunci cînd muchiile lor așchietoare au atins uzura maximă.

Pentru mărirea durabilității muchiilor așchietoare ale discului abraziv la rectificarea cu adîncimi mari de așchiere, se impune asigurarea unei răciri și ungeri a granulelor abrazive cît mai eficiente. În acest sens unii cercetători [77] propun mărirea debitului de lichid de răcire pînă la circa 300 l/min. Noi considerăm că o răcire-ungere mult mai eficientă cu un debit mult mai mic se asigură prin introducerea lichidului de răcire-ungere prin interiorul discului de rectificat [77]. Prin această metodă lichidul de răcire-ungere ajunge direct în zona de așchiere, în jurul granulei abrazive, cu o presiune mare, datorită forței centrifuge a masei de lichid și pe lîngă faptul că absoarbe o mai mare cantitate de căldură și creează o peliculă subțire de ungere între muchia așchietoare a granulei abrazive și suprafața piesei, în plus și împiedică lipirea așchiilor de granule și favorizează îndepărtarea lor și deci îmbîcsirea discului.

Productivitatea rectificării cu adîncimi mari de așchiere este de 0,5—2 cm^3/min față de 0,15 cm^3/min la rectificarea clasică.

Eficiența economică a metodei mai reiese și din costul mult mai mic al unui disc abraziv decît al unei freze din oțel rapid sau cu plăcuțe din carburi metalice, precum și din posibilitatea de a se prelucra piese tratate termic (călite) și piese cu rigiditate mică, asigurînd în același timp atît o precizie cît și o calitate superioară a suprafeței prelucrate.

7.1.1.11.5. *Rectificarea pe mașini de rectificat fără vîrfuri.* Rectificarea suprafeței exterioare a arborilor sau în general a pieselor de revoluție cu forme

Scanned with OKEN Scanner

geometrice simple se execută în general în producția de serie mare pe mașini de rectificat „fără centre".

La rectificarea fără centre piesa se așază pe un linial de reazem între două discuri abrazive (fig. 19.65), dintre care unul este un disc de rectificat, iar celălalt un disc de antrenare. Ambele se rotesc în același sens, însă cu turații diferite.

Discul de rectificat are o viteză periferică egală cu a celei de la mașinile de rectificat între vîrfuri, adică $v = 25 \ldots 30$ m/s.

Discul de antrenare are viteza periferică mult mai mică și anume de numai 0,3 m/s (18 m/min).

Deoarece coeficientul de frecare crește cu micșorarea vitezei, forța de frecare dintre discul de antrenare și piesă este mult mai mare decît dintre discul de rectificat și piesă. Acest lucru face ca piesa să se lase antrenată de discul abraziv de antrenare cu o viteză periferică egală cu a acestuia din urmă:

$$v_p = v_{da} k, \tag{7.1.101}$$

unde: v_p este viteza periferică a piesei; v_{da} — viteza discului de antrenare; k — coeficient care ține seama de alunecarea care are loc între discul de antrenare și piesă. Valoarea lui este funcție de unghiul de înclinație α al axei de rotație a discului de antrenare. Astfel, pentru $\alpha = 1{,}5°$, $k = 0{,}97$; pentru $\alpha = 3°$, $k = 0{,}95$; pentru $\alpha = 5°$, $k = 0{,}93$; pentru $\alpha = 6°$, $k = 0{,}92$.

Rectificarea fără centre se poate face cu avans longitudinal sau transversal.

Avansul longitudinal al piesei printre discurile abrazive se realizează datorită înclinării discului de antrenare cu un unghi α, ceea ce produce o componentă suplimentară a forței de frecare îndreptată în lungul axei de rotație a piesei.

Viteza de avans longitudinal a piesei, în m/min, este:

$$v_{sl} = v_{da} k \sin \alpha. \tag{7.1.102}$$

Cu avans longitudinal se rectifică în primul rînd arborii drepți. Rectificarea arborilor în trepte sau a pieselor conice se face „pînă la opritor" cu întreruperea avansului longitudinal de către un opritor fixat „în calea" piesei.

În general, rectificarea arborilor în trepte sau a pieselor cu suprafețe exterioare profilate se face cu avans transversal.

La rectificarea cu avans transversal cele două discuri abrazive au axa de rotație paralelă. Avansul se realizează prin deplasarea transversală a discului de antrenare pînă la opritor, piesa așezîndu-se pe linialul de susținere

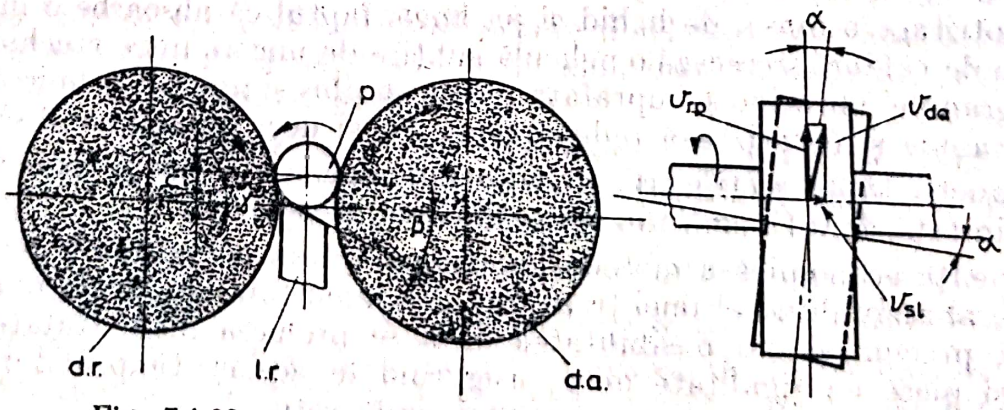


Fig. 7.1.92. Schema de principiu a rectificării fără centre:
a_r — discul de rectificat; d_a — discul de antrenare; p — piese; l — linial de reazem; v_{ad} — viteza de avans longitudinal a piesei; v_{rp} — viteza de rotație a piesei

manual sau automat. După rectificare discul de antrenare se retrage în poziția inițială, iar piesa se îndepărtează de asemenea manual sau automat.

Valoarea avansului este funcție de precizia de prelucrare, de calitatea suprafeței impusă piesei și este cuprinsă între 0,003—0,02 mm/rot.

La rectificarea fără centre se poate obține o precizie de prelucrare la diametru de 0,005 mm și de 0,002 ... 0,003 mm la forma geometrică (după un număr de 6 ... 7 treceri ale piesei printre discuri).

Rectificarea fără centre oferă o serie de avantaje față de rectificarea între vîrfuri, dintre care se pot enumera următoarele:

— se elimină din procesul tehnologic de prelucrare a piesei operația de centruire, care mai ales la piesele mici, consumă un timp de lucru pe bucată însemnat. Economia de timp rezultată se evidențiază foarte bine mai ales în producția de serie mare și masă la prelucrarea pieselor pe strunguri revolver și automate:

— eliminarea centruirii pieselor elimină și erorile datorită centruirii și cele legate de fixarea piesei între centre. Acest lucru permite reducerea adaosului de prelucrare pînă la minimum, ajungînd în unele cazuri pînă la 0,02 ... 0,03 mm, ceea ce conduce în afară de economia de metal, la ridicarea productivității prelucrării și a preciziei de prelucrare;

— oferă posibilitatea automatizării complete a întregului ciclu de lucru al mașinii;

— obținerea automată a dimensiunilor prin reglarea la dimensiune a mașinii pentru un lot întreg de piese simplifică foarte mult deservirea mașinii, care poate fi făcută de muncitori cu calificarea scăzută și creează posibilitatea deservirii simultane a mai multor mașini de un singur muncitor;

— un avantaj deosebit de mare al rectificării fără centre constă în posibilitatea rectificării pieselor lungi și subțiri, care la rectificarea pe mașini de rectificat între vîrfuri necesită utilizarea lunetelor și prelucrarea cu regimuri de așchiere neproductive.

Alături de avantajele enumerate, rectificarea fără centre are și unele dezavantaje care o împiedică să fie aplicată în toate cazurile de rectificare și anume:

— reglarea la dimensiune a mașinii necesită un timp de lucru mai mare decît în cazul rectificării pe mașini de rectificat între vîrfuri. Acest lucru împiedică aplicarea ei în producția individuală și de serie mică, cînd lotul de piese este mai mic de 8 ... 10 bucăți;

— nu se poate asigura concentricitatea suprafeței interioare cu a suprafeței exterioare care se rectifică. La rectificarea arborilor în trepte nu se poate asigura dispunerea suprafețelor tuturor treptelor pe aceeași axă de simetrie decît dacă se utilizează dispozitive speciale, ceea ce scumpește și complică foarte mult operația de rectificare;

— la rectificarea fără centre foarte des se strică forma circulară corectă a suprafeței, obținîndu-se o formă cu trei muchii cu aceeași dimensiune în orice secțiune (fig. 7.1.93). Abaterea de la forma circulară în acest caz nu se poate identifica cu calibrele potcoavă obișnuite sau cu alte instrumente de control cu două brațe paralele, decît cu ceasul comparator, piesa fiind rotită într-o prismă cu unghi drept între brațe.

Spre deosebire de rectificarea între vîrfuri la care piesa se rotește în jurul unei axe bine determinate, fapt care asigură obținerea formei circulare corecte suprafeței care se rectifică, la rectificarea fără centre piesa se află între trei suprafețe a discului de rectificat, a discului de antrenare și a linialului de reazem. Datorită faptului că discul de rectificat așchiază particule din piesa care se prelucrează, nu poate fi o bază de așezare stabilă și bine deter-

Scanned with OKEN Scanner

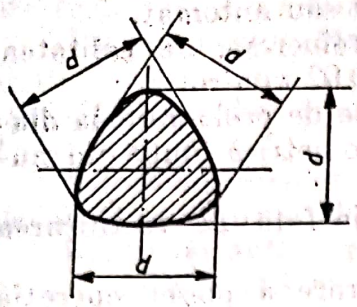


Fig. 7.1.93. Forma geometrică cu diametrul egal în orice secțiune.

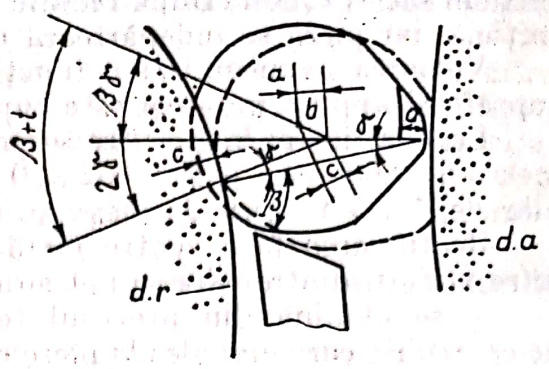


Fig. 7.1.94. Reprezentarea schematică a rectificării fără centre a unui semifabricat cu un prag.

minată. În afară de acesta în timpul prelucrării există permanent posibilitatea deplasării piesei în planul vertical. Datorită acestui lucru, piesa nu are o axă de rotație stabilă și bine determinată, fapt care conduce la obținerea unor suprafețe de revoluție incorecte. Modul în care se formează suprafața cu erori de formă poate fi explicată admițînd următoarea considerație, prezentată în cele ce urmează.

Dacă semifabricatul care trebuie prelucrat prin rectificare fără centre are un prag a, atunci în momentul în care acest prag atinge discul de antrenare, centrul semifabricatului se îndepărtează de discul de antrenare cu aceeași mărime a (fig. 7.1.94).

Însă datorită faptului că semifabricatul se poate deplasa numai paralel cu suprafața linialului de reazem, centrul semifabricatului va trebui să parcurgă segmentul b:

$$b = \frac{a}{\cos(\beta - \gamma)}. \qquad (7.1.103)$$

Deplasarea centrului semifabricatului, respectiv al piesei, cu mărimea b face ca discul de rectificat să așchieze suplimentar din piesă o mărime c în secțiunea dispusă pe normala la suprafața discului de rectificat. Această îndepărtare suplimentară de metal de pe suprafața piesei face să apară o cavitate pe suprafața opusă pragului a. Adîncimea cavității, după cum se vede și din figura 7.1.94, este:

$$c = a\frac{\cos(\beta + \gamma)}{\cos(\beta - \gamma)}. \qquad (7.1.104)$$

Raționamentul prezentat dovedește că la rectificarea fără centre erorile de formă ale piesei cumulate în operațiile precedente rectificării provoacă apariția în secțiunile diametral opuse acestora a unor cavități și invers, cavitățile provoacă apariția unor praguri pe suprafața piesei, desigur mai mici decît precedentele. Aceasta înseamnă că erorile de formă ale suprafeței piesei nu se elimină complet în timpul rectificării, ci numai se micșorează ca dimensiuni și provoacă apariția altor erori noi de dimensiuni mai mici. De aceea, pentru a obține piese cu forme de revoluție cît mai precise trebuie ca rectificarea lor să se facă din mai multe treceri sau faze cu adîncimi mici de așchiere, micșorînd în felul acesta tot mai mult erorile de formă cu care piesele ajung la operația de rectificare pe mașini de rectificat fără centre.

Corelația care există între mărimea erorii de formă a inițială a suprafeței piesei și mărimea abaterii c provocată de ea, dovedește că aceasta din

Scanned with OKEN Scanner

urmă se micşorează prin mărirea unghiului γ, adică prin aşezarea centrului piesei mult deasupra liniei care uneşte centrele discurilor abrazive. În aceeaşi măsură influenţează asupra erorii respective c şi mărimea unghiului β de înclinaţie a linialului de reazem. Totuşi mărimea distanţei h nu poate fi făcută oricît, deoarece cu creşterea ei peste o anumită valoare scade stabilitatea piesei pe cele trei puncte de reazem şi apar vibraţii în timpul rectificării. Distanţa h nu se ia mai mare de 20 mm la rectificarea pieselor cu diametrul mai mare de 15 mm.

De asemenea mărirea exagerată a unghiului β duce la împănarea, respectiv înţepenirea piesei între reazeme (discul de rectificat, cel de antrenare şi linialul de susţinere) şi la rotirea ei neuniformă. Valoarea optimă a unghiului β este $\approx 30°$.

Eroarea de formă a circumferinţei piesei rectificate pe maşinile de rectificat fără centre de obicei este de 1,0 ... 1,5 μm. Dacă însă se aleg corect valorile unghiurilor β, γ şi a mărimii h şi dacă rectificarea se face din mai multe treceri, eroarea de formă a piesei poate fi redusă pînă la 0,6 μm.

Maşina de rectificat fără centre prevăzută cu sistem de alimentare automată pentru asigurarea desfăşurării fără întrerupere a procesului de lucru a maşinii, precum şi cu sistem de ascuţire a discului şi reglarea automată la dimensiune, devine pentru producţia de serie mare şi masă o maşină indispensabilă pentru rectificarea pieselor de dimensiuni relativ mici de tipul arborilor drepţi şi în trepte, a bucşelor şi inelelor (mai ales a celor de rulmenţi), precum şi a barelor lungi pînă chiar la 8 m, cu o precizie de $\pm$ 0,01 mm, adaosul de prelucrare putînd ajunge pînă la 0,8 mm pe diametru.

Creşterea productivităţii şi a preciziei de prelucrare. Intensificarea regimului de aşchiere la rectificarea fără centre este îngrădită din cauza încălzirii puternice a suprafeţei care se prelucrează, care poate conduce la rebutarea piesei.

La rectificarea pe aceste maşini, cu avans transversal, pînă la un opritor, sau cu instalaţie de control activ, dimensiunea piesei în momentul terminării prelucrării se află în limitele toleranţei. Pentru producţie este importantă dimensiunea piesei nu în momentul terminării rectificării, cînd ea este puternic încălzită, ci după răcirea pînă la temperatura camerei.

În condiţiile încălzirii uniforme, piesele (dintr-un lot de piese) în momentul terminării rectificării, trebuie să aibă la răcirea la aceeaşi temperatură, dimensiuni egale. În timpul rectificării însă, piesele se încălzesc diferit din cauza adaosului diferit de prelucrare după strunjire şi tratamentului termic. Dacă adaosul de prelucrare este mare, piesa se încălzeşte mai intens. Dacă adaosul de prelucrare este mai mic, atunci, după acelaşi timp de rectificare piesa se încălzeşte mai puţin. Practic, dimensiunile pieselor cu $\varnothing$ 140 ... 150 mm din cauza încălzirii neuniforme, se schimbă în limitele 0,01 ... 0,05 mm, foarte aproape de limitele toleranţei.

Cea mai efectivă reducere a încălzirii piesei la rectificarea fără centre se obţine atunci cînd se face o răcire suplimentară de jos în sus, deoarece suprafaţa încălzită a piesei se deplasează în jos (v. fig. 7.1.95). La efectuarea răcirii de jos în sus suprafaţa piesei se răceşte imediat şi căldura nu reuşeşte să se propage în piesă.

Răcirea de jos în sus este îndeosebi eficace la rectificarea fără centre a pieselor tubulare, de exemplu a inelelor de rulmenţi, a cămăşilor de cilindri, a bucşelor etc. La rectificarea unor arbori drepţi cu răcirea de jos în sus, precizia diametrului a fost de 0,016 mm. La întreruperea răcirii de jos în sus, precizia a scăzut pînă la 0,022 mm.

Scanned with OKEN Scanner

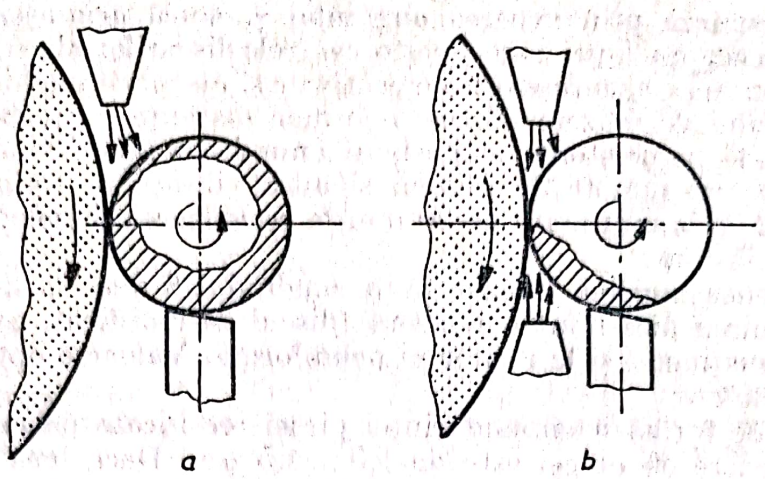


Fig. 7.1.95. Schema răcirii bilaterale a piesei.

Analiza propagării căldurii în piesă, arată că cea mai eficientă metodă de răcire este cea de jos în sus; ea permite creşterea productivităţii şi a preciziei de prelucrare la rectificarea pe maşini de rectificat fără centre.

7.1.1.11.6. *Rectificarea electrochimică.* În procesul de rectificare electrochimică îndepărtarea metalului de pe suprafaţa piesei supusă prelucrării se realizează prin acţiunea simultană a doi factori: curentul electric, care descompune metalul pe cale electrochimică şi granulele de diamant, care aşchiază la fel ca granulele abrazive ale unui disc de rectificat obişnuit.

Pentru realizarea fenomenului de descompunere electrochimică a metalului atît piesa ce se prelucrează cît şi discul de rectificat se conectează la o sursă de curent continuu (piesa la polul pozitiv, iar discul de rectificat la polul negativ). Pe suprafaţa activă a discului de rectificat granulele de diamant sînt ieşite în afară. În acest caz între suprafaţa piesei ce se prelucrează şi suprafaţa activă a discului de rectificat se formează un spaţiu liber, care este umplut cu electrolitul care este adus în zona de lucru la fel ca şi lichidul de răcire-ungere la rectificarea obişnuită.

Curentul electric se scurge de la piesa ce se prelucrează prin electrolit înspre discul metalic de rectificat. Porii discului de rectificat plini cu electrolit formează o serie de elemente electrochimice care descompun metalul de pe suprafaţa piesei. Cantitatea de metal descompusă de pe suprafaţa piesei este direct proporţională cu intensitatea curentului electric care se scurge de la piesă la discul de rectificat. S-a determinat experimental că din întreaga cantitate de metal îndepărtată de pe suprafaţa piesei ce se prelucrează, 90% s-a îndepărtat prin procesul electrochimic şi numai 10% s-a îndepărtat prin aşchiere de către granulele de diamant de pe suprafaţa activă a discului de rectificat.

Rectificarea electrochimică prezintă o serie de avantaje faţă de rectificarea obişnuită. Unul din cele mai mari avantaje constă în rectificarea rapidă şi economică a pieselor confecţionate din metale foarte dure. Acest lucru reiese din următorul exemplu. La ascuţirea obişnuită cu disc de rectificat abraziv a unei freze cu dinţi demontabili din metal dur, la o singură trecere se îndepărtează un strat cu o grosime de numai 0,012 mm de pe suprafaţa unui dinte al frezei. La ascuţirea electrochimică însă, fiecare dinte poate fi ascuţit complet dintr-o singură trecere, ceea ce face ca ascuţirea completă a frezei pe faţa de aşezare să se realizeze la o singură rotaţie a acesteia. Din acest exemplu reiese foarte clar cît de mult s-a redus timpul de lucru în comparaţie cu ascuţirea după metoda clasică.

Scanned with OKEN Scanner

Un alt mare avantaj al rectificării electrochimice constă în faptul că ea asigură obținerea unei precizii mari de prelucrare, întrucît așa cum s-a arătat, 90% din cantitatea de metal îndepărtată de pe suprafața piesei ce se prelucrează, se îndepărtează prin procesul electrochimic. În acest caz uzura discului fiind cu totul neglijabil de mică, prelucrarea se poate face fără compensări periodice a uzurii discului. Timpul între două reglări la dimensiune a mașinii de rectificat, în cazul lucrului pe mașini de rectificat reglate la dimensiune, este foarte mare și de aici o serie întreagă de alte avantaje. În cadrul exemplului de mai sus, datorită acestui avantaj, se asigură realizarea celei mai importante condiții care se impune la ascuțirea frezelor și anume obținerea muchiilor așchietoare a tuturor dinților în planul perpendicular pe axa de rotație a frezei (în cazul de față este vorba de o freză frontală).

Se știe că în industria constructoare de mașini se utilizează și discuri de rectificat cu granule de diamant în liant de vulcanită, mai ales pentru ascuțirea sculelor armate cu pastile din carburi metalice. Ascuțirea acestor scule cu astfel de discuri de rectificat este cu 70—90% mai scumpă decît ascuțirea electrochimică, din cauza consumului mult mai mare de discuri de rectificat.

Rectificarea electrochimică mai prezintă avantaje foarte mari și în cazul rectificării pieselor cu pereți subțiri. Aceste piese la rectificarea obișnuită se pot foarte ușor deforma din cauza forțelor mari de așchiere. La rectificarea electrochimică acest lucru este cu totul evitat, întrucît forțele de așchiere sînt foarte mici datorită faptului că cea mai mare parte din metalul îndepărtat de pe suprafața piesei (90%) se îndepărtează prin descompunere electrochimică.

Rectificarea electrochimică se poate aplica atît la rectificarea cilindrică exterioară, interioară cît și la rectificarea plană, utilizînd pentru acest lucru fie utilajul existent, fie un utilaj special.

7.1.1.12. **Superfinisarea arborilor.** Superfinisarea este o metodă de prelucrare fină a suprafețelor de revoluție exterioare, interioare și a suprafețelor plane.

Superfinisarea se face cu ajutorul a 2—4 sau 6 bare abrazive fixate într-un dispozitiv care se numește „cap de superfinisat".

Barele abrazive sînt apăsate pe suprafața piesei în timp ce aceasta execută o mișcare de rotație, iar capul de superfinisat o mișcare rectilinie alternativă și una de avans longitudinal.

Procesul de superfinisare este caracterizat deci de următorii factori de bază: viteza periferică a piesei; numărul de curse duble al capului de superfinisat; dimensiunile și duritatea barelor abrazive și presiunea care se exercită asupra barelor abrazive.

Barele abrazive sînt de formă prismatică, confecționate din granule abrazive din oxizi de aluminiu pentru prelucrarea pieselor confecționate din oțeluri cu duritatea foarte mare și din carbură de siliciu pentru prelucrarea pieselor din oțeluri moi și tenace, fontă și metale neferoase.

Pentru superfinisarea de degroșare se utilizează bare abrazive cu granulație 220—120 în sistemul țol, iar pentru superfinisarea de finisare cu granulație 800—1 000. Cel mai mult se utilizează bare abrazive cu granulația 400—600.

Presiunea care se exercită asupra barelor abrazive este de obicei $(1{,}4 \div 2{,}8)\ 10^{-1}$ N/mm². O astfel de presiune se aplică barelor abrazive care au o suprafață de lucru de 6,25—18,75 cm². Pentru cazuri mai deosebite presiunea poate să ajungă pînă la $(4 \div 5{,}5) \cdot 10^{-1}$ N/mm² și anume cînd piesele sînt confecționate din oțeluri foarte dure. Pentru superfinisarea foarte fină a pie-

selor confecționate din oțeluri moi, fontă și metale neferoase presiunea asupra barelor este mult mai mică și anume $(1,5 \div 3,5) \cdot 10^{-2}$ N/mm^2.

Superfinisarea se face în prezența unui lubrifiant format din 80—90% petrol și 10—20% ulei de turbină. Pentru obținerea unei rugozități mici a suprafeței vîscozitatea lubrifiantului trebuie să fie mai mare, iar pentru mărirea intensității de așchiere vîscozitatea trebuie să fie mai mică. Vîscozitatea dorită se poate obține prin mărirea sau micșorarea procentului de ulei față de procentul de petrol. Lubrifianții clorurați ridică mult eficacitatea prelucrării.

Pentru realizarea prelucrării piesa care se superfinisează, trebuie să aibă o mișcare de rotație cu o viteză periferică cuprinsă între 12—15 m/min pentru prelucrarea de degroșare și de 30 m/min pentru finisare. (Pentru superfinisarea valțurilor din oțel dur turnate în cochile a mașinilor de fabricat hîrtia se recomandă ca viteza periferică a acestora să se ridice la 120 m/min, obținîndu-se o rugozitate a suprafeței de numai 0,13 μm).

Prelucrarea de superfinisare cea mai economică se obține atunci cînd prelucrarea de degroșare se face cu o viteză, iar prelucrarea de finisare cu o altă viteză. Mașinile de superfinisat ale firmei *Gisholt* execută prelucrarea așa cum s-a arătat mai sus, cu două viteze care se schimbă automat.

Procesul de așchiere la superfinisare cu bară abrazivă este asemănător cu cel de la broșare. Fiecare granulă abrazivă poate fi considerată ca fiind un dinte al broșei. Deosebirea constă însă în aceea că, distanța dintre două granule este mult mai mică decît între doi dinți ai broșei. Dacă granula abrazivă la superfinisare ar așchia numai într-un singur sens, atunci așchiile detașate nu ar încăpea în spațiul dintre două granule, așa cum se întîmplă la broșare și ele ar îmbîcsi porii barei abrazive, înrăutățind și împiedicînd desfășurarea procesului de așchiere. De aceea a fost și este necesar ca la superfinisare fiecare granulă abrazivă, să așchieze în două sensuri. În felul acesta așchia detașată de pe suprafața piesei la așchiere într-un sens este desprinsă de pe fața de degajare a granulei la așchierea acesteia în sens contrar și se evită astfel îngrămădirea așchiilor în spațiul mic dintre două granule. Avînd în vedere faptul, că spațiul dintre granule este foarte mic, lungimea așchiei trebuie să fie și ea mică pentru ca să poată fi cuprinsă în spațiul respectiv. De aceea trebuie ca lungimea cursei de așchiere a granulei să fie cît mai mică posibil și anume de 1,5—6 mm, iar frecvența mișcării rectilinii alternative de 500—1 500 și chiar 3 000 curse duble pe minut. În afară de această mișcare rectilinie alternativă, capul de superfinisat mai execută și o mișcare de avans longitudinal de 0,1 mm/rot a piesei. Frecvența mare a mișcării rectilinii alternative se recomandă pentru superfinisarea de degroșare, cînd se urmărește mărirea volumului de metal îndepărtat de pe suprafața piesei, iar frecvența mică pentru finisare.

Superfinisarea este o metodă de prelucrare la care procesul de așchiere se întrerupe automat, el decurgînd în felul următor. La începutul prelucrării granulele abrazive se găsesc în contact numai cu vîrfurile microasperităților, după cum se vede în figura 7.1.96, ceea ce face ca presiunea de contact să fie foarte mare și pelicula de ulei străpunsă ușor. În această situație are loc o așchiere intensă, respectiv o îndepărtare intensă de așchii, lucru ce se vede în figura 7.1.96 și anume: în decurs de 10 s înălțimea microasperităților a scăzut de la 1,25 μm la 0,375 μm. Pe măsură ce se desfășoară procesul de așchiere granulele abrazive se uzează, se desprind din liant și apar granule noi cu muchii așchietoare ascuțite. În acest stadiu al procesului de lucru suprafața de contact crește și în mod corespunzător se micșorează presiunea specifică, de aceea

Scanned with OKEN Scanner

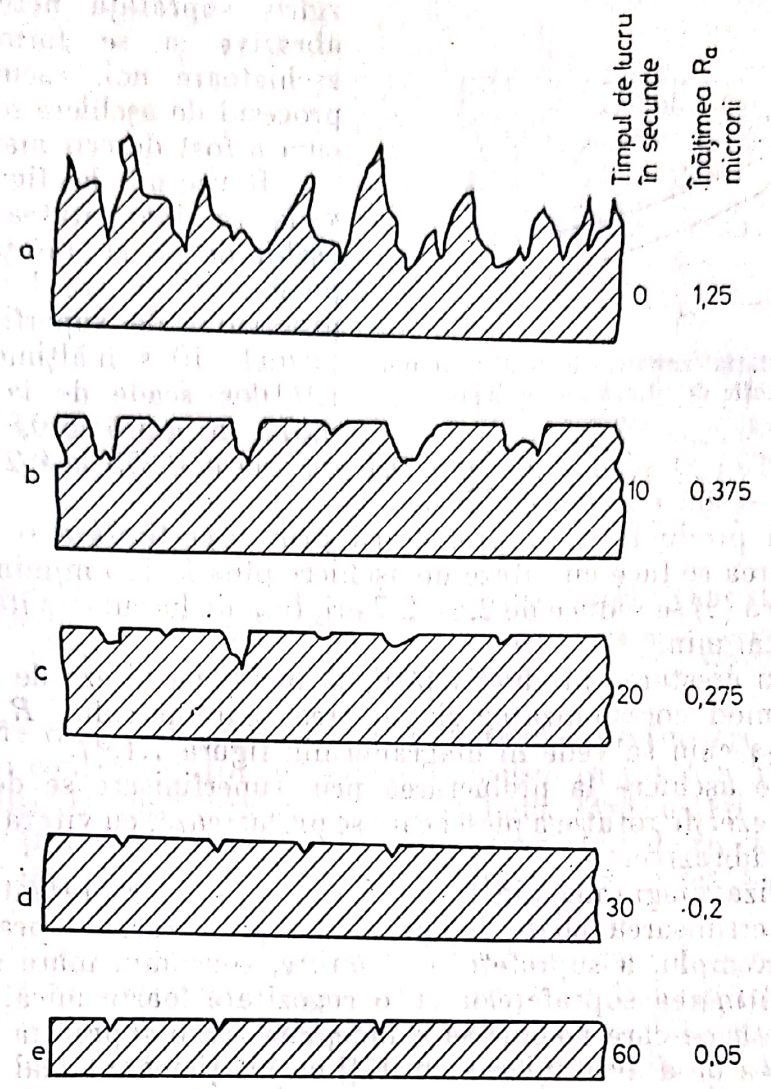


Fig. 7.1.96. Forma geometrică a microasperităților suprafeței:
a — înainte de superfinisare; *b,c,d* — după diferite perioade de timp; *e* — la sfîrșitul procesului de superfinisare

granulele abrazive nu mai străpung pelicula de ulei cu atîta ușurință ca la începutul procesului de așchiere și pătrund în metal la o adîncime mai mică. Granulele abrazive acum nu mai sînt sfărîmițate, pentru că forța de așchiere care acționează asupra lor este relativ mică, insuficientă pentru a le sfărîma și scoate din liant, muchiile lor așchietoare începînd să se uzeze. În această stare granulele abrazive îndepărtează așchii tot mai subțiri, pînă cînd devin atît de subțiri încît acestea se oxidează și se depun în porii barei abrazive. Aceste depuneri de așchii deosebit de subțiri conduc la formarea suprafeței netede, lucioase a barei abrazive. În această perioadă de timp proprietățile așchietoare ale barei abrazive se reduc tot mai mult, suprafața de contact crește și ea pînă cînd presiunea specifică dintre suprafața barei abrazive și suprafața piesei devine atît de mică, încît vîrfurile granulelor abrazive nu mai pot străpunge filmul de ulei și procesul de așchiere se întrerupe. În acest timp între bara abrazivă și suprafața piesei are loc o frecare lichidă. Acest stadiu al superfinisării este reprezentat în figura 7.1.98, stadiu în care s-a ajuns după aproximativ 60 s.

Dacă bara abrazivă în această stare se folosește pentru prelucrarea piesei următoare, atunci vîrfurile microasperităților de pe suprafața piesei străpung filmul de ulei și contactul cu suprafața barei abrazive făcîndu-se punctiform și presiunea specifică fiind foarte mare, microasperitățile suprafeței piesei

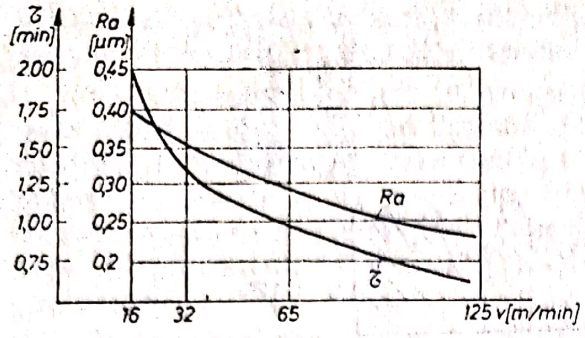


Fig. 7.1.97. Variația rugozității și a timpului de lucru funcție de viteza de așchiere.

zgîrie suprafața netezită a barei abrazive și se formează muchii așchietoare noi, ascuțite, cu care procesul de așchiere se repetă, după cum a fost descris mai sus.

Revenind la figura 7.1.96 se vede că intensitatea scoaterii de așchii de pe suprafața piesei scade pe măsură ce are loc desfășurarea procesului de superfinisare. După primele 10 s înălțimea microasperităților scade de la 1,25 μm, la 0,375 μm, adică cu 0,875 μm, pentru ca după alte 10 s să scadă cu numai 0,1 μm (de la 0,375 la 0,275), iar după alte 10 s să scadă cu abia 0,075 μm.

Creșterea productivității prelucrării prin superfinisare se poate realiza dacă prelucrarea se face cu viteze de așchiere pînă la 125 m/min. În acest caz timpul de lucru (τ) se reduce de 2,4—2,7 ori, față de lucrul cu viteze de așchiere de numai 16 m/min.

O dată cu creșterea productivității, la lucrul cu viteze de așchiere mari, se reduce în mod corespunzător și valoarea parametrului R_a a suprafeței prelucrate, așa cum se vede în diagrama din figura 7.1.97.

Viteza de așchiere la prelucrarea prin superfinisare se determină prin însumarea vitezei de rotație a piesei care se prelucrează, cu viteza liniară (vibratorie) a barei abrazive.

Din analiza diagramei din figura 7.1.98 și a celor prezentate pînă aici, reiese că superfinisarea poate fi aplicată la prelucrarea suprafețelor foarte rugoase, de exemplu, a suprafețelor strunjite, consumul mare de timp avînd loc pentru obținerea suprafețelor cu o rugozitate foarte mică. Condiția cea mai importantă pe care trebuie să o îndeplinească o suprafață de frecare nu constă în aceea de a avea microasperități cu înălțimea cît mai mică, ci asperități cu vîrfurile retezate la același nivel și bine înțeles, cu o înălțime cît mai mică. Necesitatea îndeplinirii acestei condiții rezultă din analiza fenomenelor care au loc la deplasarea relativă a două suprafețe conjugate cu un film de ulei între ele. La aceste două suprafețe, dacă ele au fost rectificate, înălțimea microasperităților este de 0,2—0,25 μm. După cum se vede în figura 7.1.99, *a* vîrfurile microasperităților fiind ascuțite și neregulate, contactul între cele două suprafețe are loc pe vîrfurile microasperităților, ceea ce face ca presiunea de contact să fie foarte mare.

Datorită acestei presiuni specifice de contact foarte mari, vîrfurile microasperităților străpung cu ușurință filmul de ulei și se sudează între ele. Întrucît suprafețele de contact au o mișcare relativă una față de alta, vîrfurile microasperităților sudate se rup, apoi în momentul următor venind din nou în contact, se sudează și fenomenul se repetă.

Particulele de metal detașate în felul acesta de pe suprafața piesei rămîn în filmul de ulei și contribuie la intensificarea uzurii și înrăutățirea calității suprafeței grăbind intrarea în zona uzurii catastrofale.

În figura 7.1.99 sînt reprezentate două suprafețe conjugate prelucrate prin superfinisare. În acest caz se vede că microasperitățile sînt retezate, contactul între cele două suprafețe conjugate nemaifiind punctiform presiunea specifică este mult mai mică și filmul de ulei nu mai poate fi străpuns, ceea ce asigură o reducere a frecării de alunecare și în același timp a uzurii.

Scanned with OKEN Scanner

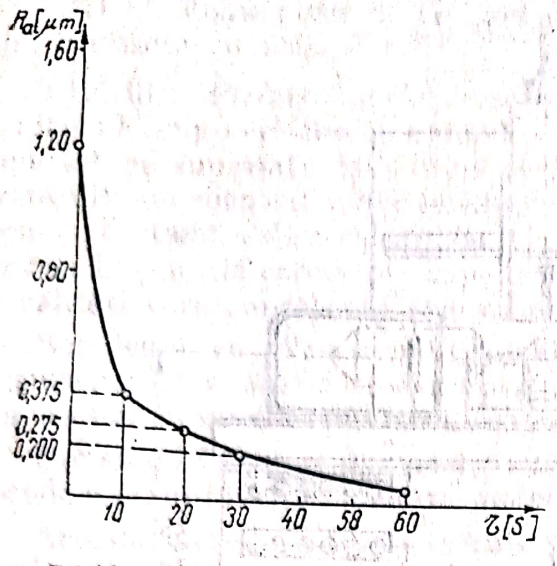


Fig. 7.1.98. Variația înălțimii microasperităților în funcție de timpul de așchiere.

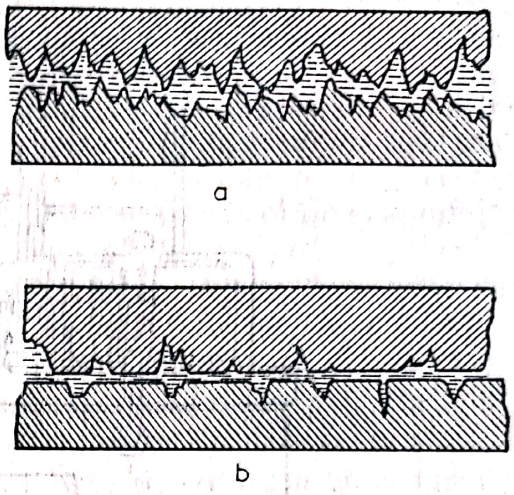


Fig. 7.1.99. Suprafețe conjugate:
a — prelucrate prin rectificare; *b* — prelucrate prin superfinisare.

Zgîrieturile care rămîn pe suprafața pieselor după superfinisare nu sînt vătămătoare, ci din contră ele sînt folositoare în sensul că joacă rolul unor buzunare pentru ulei. O suprafață mult prea netedă, fără astfel de zgîrieturi nu asigură menținerea filmului de ulei între suprafețele de frecare. De aceea, este bine ca după prelucrarea de superfinisare să mai rămînă pe suprafața pieselor o parte din microcanalele dintre microasperități.

Superfinisarea nu este un proces de lustruire care formează un strat amorf de metal pe suprafața piesei respective, astupînd zgîrieturile rămase și formînd astfel o suprafață sclipitoare ca oglinda. Rezultă deci că suprafața unui arbore superfinisat este mult mai bună ca suprafață de alunecare sau de sprijin, decît a unui arbore rectificat oricît de fin sau lustruit. Această particularitate a superfinisării este și cauza pentru care se răspîndește tot mai mult în industria constructoare de mașini, suprafața obținută prin superfinisare avînd precădere față de suprafețele prelucrate prin rectificare sau lustruire.

Superfinisarea se poate executa fie pe mașini special construite pentru acest fel de prelucrare, fie pe strunguri sau mașini de rectificat universal.

În industria constructoare de autovehicule și avioane pentru superfinisarea suprafețelor fuselor bielă și palier a arborilor cotiți se folosesc mașini speciale semiautomate de superfinisare. O astfel de mașină există și în uzina de autocamioane din Brașov. O mașină similară este prezentată în figura 7.1.100. În producția individuală și de serie mică se folosesc pentru superfinisare arborilor, așa cum s-a arătat, fie strunguri universale, fie mașini de rectificat exterior rotund. Superfinisarea se face cu un dispozitiv de superfinisat care se fixează în locul suportului port-cuțit la strung sau pe sania port-disc de rectificat la mașina de rectificat. Barele abrazive sînt fixate în capul de superfinisat care primește mișcarea oscilatorie de la dispozitivul de superfinisat, mecanic, hidraulic sau pneumatic. Articulația capului trebuie să asigure o poziție corectă a barelor abrazive față de piesă (fig. 7.1.101).

În producția de masă și serie s-au construit și mașini fără centre automate sau semiautomate, pentru superfinisarea suprafețelor exterioare cilindrice și conice ca de exemplu bolțul de piston role sau ace pentru rulmenți.

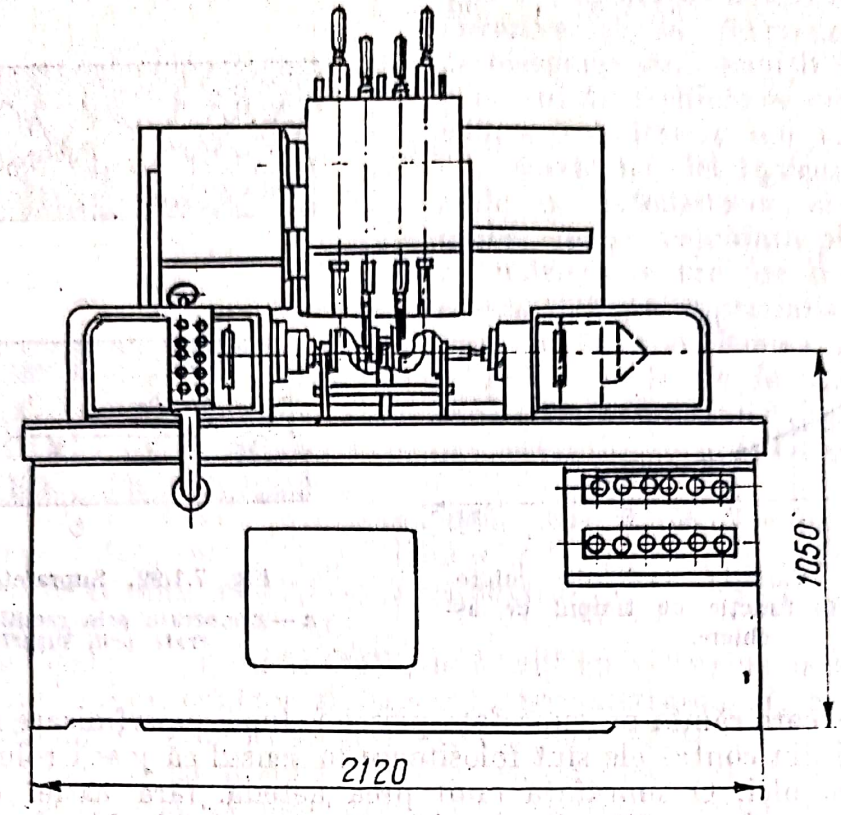


Fig. 7.1.100. Vedere generală schematizată a unei mașini de superfinisat fusele bielă și palier ale arborilor cotiți.

Productivitatea unor astfel de mașini este foarte mare. Astfel de exemplu la superfinisarea de semifinisare a rolelor cilindrice cu diametrul de 14 mm și lungimea de 20 mm, cu un adaos de prelucrare de 0,02 mm, productivitatea este de 2 200 buc./oră, iar la superfinisarea de finisare productivitatea este de 4 200 buc./oră.

Superfinisarea are și un dezavantaj care constă în aceea că nu poate corecta erorile de formă ale suprafeței din operația precedentă, datorită rigidității scăzute a sistemului tehnologic elastic.

Pentru a se putea corecta la superfinisare erorile de formă ale suprafețelor este necesar ca:

— mărimea stratului de metal care se îndepărtează să fie mai mare decît eroarea de formă care se urmărește a fi corectată;

— capul de superfinisat în care sînt fixate barele abrazive să nu se autoașeze în timpul prelucrării pe suprafața care se prelucrează, ci să fie fixat rigid și să se miște paralel cu direcția de avans.

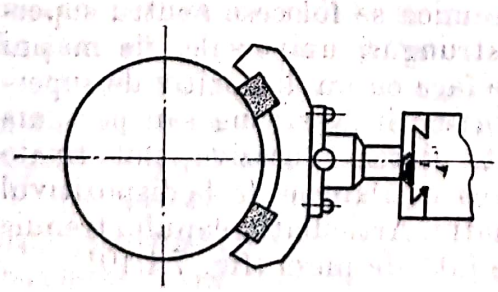


Fig. 7.1.101. Cap de superfinisat cu două bare abrazive cu legătură elastică.

Utilizînd capetele de superfinisat rigide se poate corecta conicitatea, ovalitatea și alte erori de formă cu pînă la 5—70% din mărimea inițială a erorii respective, asigurînd în același timp și o calitate ridicată a suprafețelor. Mărimea medie a stratului de metal care se poate îndepărta de pe suprafața piesei la superfinisarea cu o presiune de $(1{,}5 \div 5{,}5) \cdot 10^{-1}$ N/mm² a barelor abrazive cu o granulație de 150—320 și duritatea de la M3 pînă la C_1, variază între 20 pînă la 60 μm pe diametru.

Scanned with OKEN Scanner

7.1.1.13. **Prelucrarea de finisare a arborilor prin ecruisare.** (Ecruisare cu bile, ecruisare cu role)

7.1.1.13.1. *Prelucrarea de finisare a arborilor prin ecruisare cu bile.* Pînă în ultimul timp ecruisarea suprafeţelor exterioare se făcea fie cu jet de bile proiectat pe suprafaţa care urma să fie ecruisată, fie prin presiune cu role fixate într-un dispozitiv foarte simplu, iar suprafeţele interioare cu bile sau dornuri. Instalaţia de ecruisare cu jet de bile este foarte voluminoasă şi costisitoare. În plus, la ecruisarea după această metodă nu se pot obţine suprafeţe cu calităţi corespunzătoare suprafeţelor de frecare.

Ecruisarea cu role prezintă o serie de dezavantaje legate în special de presiunea relativ mare a acestora pe suprafaţa piesei care se ecruisează. Datorită acestei presiuni de contact arborii cu rigiditate scăzută se deformează.

O metodă modernă de ecruisare care prezintă o serie de avantaje faţă de metodele amintite mai sus este metoda care se descrie în cele ce urmează.

Această metodă foloseşte pentru ecruisare forţa centrifugă a unui număr de bile care se pot mişca liber în canalele radiale ale unui disc (discul are o viteză periferică corespunzătoare).

Fiecare bilă întîlnind în drumul ei suprafaţa piesei care se ecruisează o loveşte cu o forţă:

$$F = \frac{mv^2}{R}, \qquad (7.1.105)$$

unde m este masa bilei; v — viteza periferică a discului, respectiv viteza de rotaţie a bilei; R — raza discului, egală cu distanţa din centrul bilei pînă la axa de rotaţie a discului.

Dacă se exprimă masa m a bilei prin greutatea ei Q, adică $m = \frac{Q}{g}$, atunci,

$$F = \frac{Qv^2}{gR}, \qquad (7.1.106)$$

unde g este acceleraţia gravitaţiei.

Dacă viteza de rotaţie a bilei se exprimă în funcţie de numărul de rotaţii pe minut, atunci

$$F = \frac{Q\pi^2R^2n^2}{gR\,900}, \qquad (7.1.107)$$

Efectuînd reducerile respective se obţine relaţia definitivă după care se calculează forţa cu care fiecare bilă loveşte suprafaţa piesei:

$$F = 0{,}00\,112\,QRn^2. \qquad (7.1.108)$$

De exemplu, folosind dispozitivul reprezentat în figura 7.1.102 pentru ecruisarea arborilor pe o maşină de rectificat exterior cilindric se obţine o forţă de lovire a bilei:

$$F = 0{,}00112\ QRn^2 = 0{,}0012 \cdot 0{,}0014 \cdot 0{,}135 \cdot 1820^2 = 7{,}01\ \text{N}.$$

După cum se vede bilele folosite au avut o greutate de 1,4 g fiecare (cu $\varnothing = 7$ mm), raza discului a fost de 135 mm, iar numărul de rotaţii al arborelui principal al maşinii de rectificat pe care s-a fixat dispozitivul respectiv, a fost de 1 820 rot/min.

Scanned with OKEN Scanner

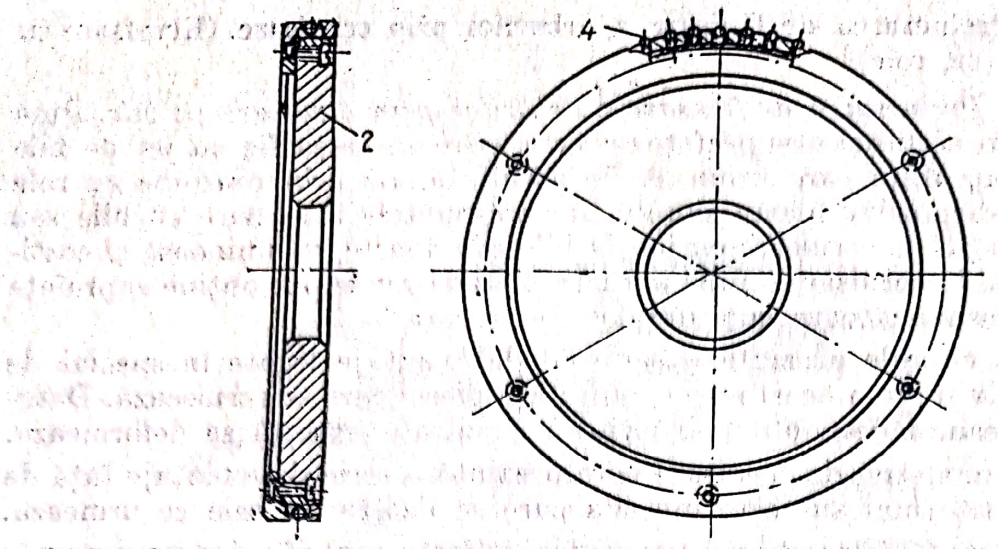


Fig. 7.1.102. Disc cu bile pentru ecruisat.

Schema ecruisării suprafeţelor exterioare de revoluţie pe o maşină de rectificat exterior cilindric este redată în figura 7.1.103.

Din schema prezentată se vede că piesa face mişcarea de avans longitudinal alternativ şi o mişcare de rotaţie în sens invers discului cu bile, care împreună cu sania poate executa şi o mişcare de avans transversal pentru realizarea mărimii optime h de respingere forţată a bilei de către piesa care se ecruisează (figura 7.1.104).

Prin ecruisarea arborilor după metoda descrisă se obţin o serie de avantaje faţă de prelucrarea obişnuită, dintre care se enumeră:

— mărirea durităţii la suprafaţa piesei şi durificarea (întărirea) unui strat relativ adînc;

— îmbunătăţirea calităţii suprafeţei fără modificarea dimensiunilor;

— modificarea radicală a microprofilului suprafeţei.

În tabelul 7.1 din [26] sînt redate regimurile de lucru, duritatea, calitatea suprafeţei şi durificarea stratului superficial obţinut la ecruisarea unui număr relativ mare de piese confecţionate din diferite metale şi aliaje.

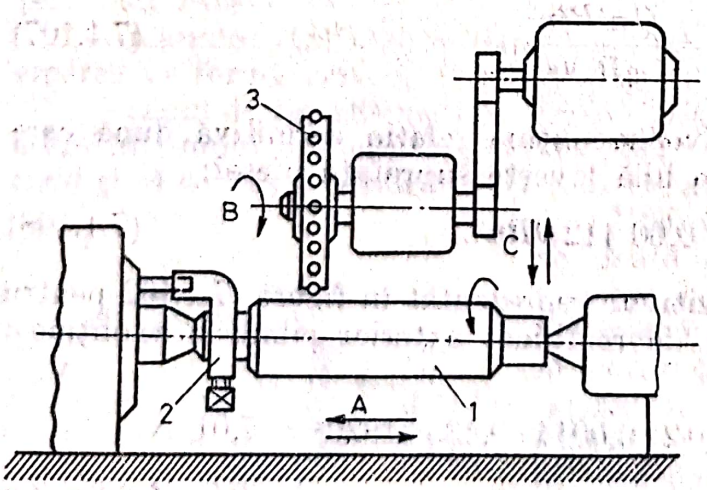


Fig. 7.1.103. Schema ecruisării unui arbore pe o maşină de rectificat exterior.

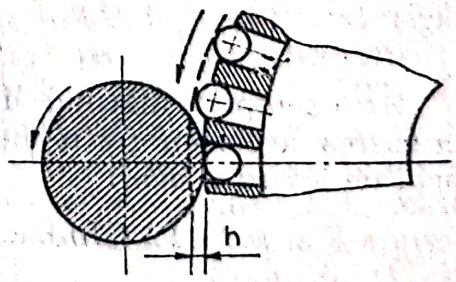


Fig. 7.1.104. Reprezentarea schematică a înălţimii h cu care este respinsă bila în momentul lovirii suprafeţei care se ecruisează.

Scanned with OKEN Scanner

Factorii regimului de lucru la ecruisare sînt:

— viteza de rotaţie a bilelor, în m/s;

— viteza periferică a piesei care se ecruisează, în m/min;

— avansul longitudinal, în mm/rot;

— mărimea h cu care este respinsă bila, în mm.

În afară de aceşti factori asupra rezultatelor ecruisării mai influenţează şi numărul de treceri.

Viteza periferică a piesei se recomandă a fi între 30—90 m/min. La o viteză periferică mică a piesei are loc o ecruisare prea puternică.

Avansul longitudinal are influenţă mare asupra calităţii suprafeţei şi implicit asupra numărului de lovituri pe 1 mm² din suprafaţa piesei.

Un factor foarte comod cu care se poate regla regimul de ecruisare este mărimea h, cu care este respinsă bila de piesa ce se prelucrează.

Prin variaţia acestui factor se poate varia în limite foarte largi forţa de lovire a bilei. Astfel de exemplu, variind pe h de la 0,1 mm pînă la 0,3 mm forţa de lovire a bilei creşte de 3,5 ori. Acest factor permite ca la lucrul cu aceeaşi viteză de rotaţie a bilelor să se obţină valori diferite ale durităţii suprafeţei şi a mărimii adîncimii stratului durificat.

O atenţie deosebită trebuie să se acorde alegerii regimului de lucru la ecruisarea pieselor din fontă, întrucît foarte uşor se pot supraecruisa. Supraecruisarea se caracterizează prin aceea că suprafaţa piesei se cojeşte la periferia albioarei formată de bilă (marginile albioarei se rup) şi dacă suprafaţa unei astfel de piese se şterge cu vată, pe întreaga suprafaţă rămîn agăţate fire de vată.

La ecruisarea pieselor din metale neferoase trebuie ca forţa de lovire a bilei să fie de două ori mai mică decît la ecruisarea pieselor din oţel de construcţii.

În afară de avantajele enumerate, prin ecruisare se măreşte considerabil rezistenţa pieselor la oboseală. Astfel, de exemplu la încercările făcute cu o epruvetă cu diametrul de 40 mm din oţel 18 Mo CN13 la încovoiere în consolă cu $\sigma = 600$ MPa a rezistat 2 700 000 cicluri, pe cîtă vreme epruveta cu aceleaşi dimensiuni şi din acelaşi material, însă neecruisată a rezistat la aceeaşi sarcină numai 700 000 cicluri.

În urma ecruisării după această metodă în stratul superficial al piesei apar tensiuni remanente de compresiune care măresc foarte mult rezistenţa la uzură.

Perspectivele de aplicare a acestei metode de finisare a suprafeţelor fără îndepărtarea de aşchii sînt foarte largi.

După această metodă mai pot fi ecruisate următoarele piese: arbori cotiţi, cămăşi de cilindri, inele de rulmenţi, cuzineţi de lagăre, bolţuri de pistoane, tije ale supapelor, glisiere ale batiurilor de maşini-unelte, căile de rulare ale inelelor de rulmenţi etc.

Aplicînd metoda prezentată se pot înlocui în construcţia de maşini oţelurile aliate cu oţeluri de construcţie.

Un avantaj mare al acestei metode care uşurează foarte mult posibilitatea aplicării ei, constă în faptul, că prelucrarea se poate face pe aceleaşi maşini-unelte pe care se face strunjirea, rectificarea etc. şi cu o mînă de lucru cu o calificare scăzută. Dispozitivele folosite sînt simple şi pot fi utilizate pentru o gamă destul de largă de dimensiuni exterioare şi interioare.

Scanned with OKEN Scanner

7.1.1.13.2. *Prelucrarea de finisare a arborilor prin ecruisare cu role.* Principiul prelucrării prin ecruisare (roluire) a suprafețelor exterioare ale arborilor, constă în apăsarea unei role pe suprafața care se prelucrează. Rola se rotește liberă în corpul dispozitivului fixat în suport port-cuțite al unui strung universal, iar arborele este fixat fie între vîrfuri, fie cu un capăt în universal și cu celălalt în vîrful păpușii mobile.

Prin acest procedeu se pot prelucra atît arbori drepți, arbori în trepte cît și racordări ale arborilor (fig. 7.1.105).

Roluirea prezintă multe avantaje față de celelalte procedee de prelucrare de finisare prin așchiere, dintre care se enumeră următoarele:

— un grad ridicat de netezime a suprafeței, $R_a < 0{,}4$ μm;

— o precizie dimensională cuprinsă în clasele 6—7, după ISO;

— îmbunătățirea proprietăților fizico-mecanice a stratului superficial ecruisat: — crește duritatea materialului cu 30 — 35% pe o adîncime de 0,3 ÷ 0,4 mm;

— creșterea rezistenței la uzură cu 50 — 200%. Astfel, două piese identice, finisate una prin roluire după strunjire, iar alta prin rectificare după tratamentul termic, testate în condiții identice, au avut după aceeași perioadă de timp uzuri diferite și anume: — piesa roluită a avut o uzură de 3 — 4 ori mai mică decît cea tratată termic și rectificată;

— creșterea capacității portante și a rezistenței la coroziune cu 30 — 80%;

— reducerea considerabilă a timpilor de bază de mașină cu 40—60% pentru obținerea unei precizii cuprinsă în clasa 6 ISO și a unei rugozități $R_a = 0{,}2$ μm, față de prelucrarea prin rectificare;

— gradul mare de universalitate al dispozitivelor cu role. Dispozitivele respective se pot adapta pe strunguri universale, strunguri revolver, mașini de frezat, mașini de găurit etc.

Roluirea aplicată pe mașini-unelte speciale, conduce la creșterea considerabilă a productivității și la posibilitatea automatizării întregului ciclu de lucru.

Avantajele menționate mai sus sînt dependente în mare măsură de o serie de factori dintre care se enumeră următorii:

— materialul piesei care se prelucrează;

— regimul de lucru;

— condițiile de răcire-ungere.

Dispozitivele de roluit pot fi cu: o singură rolă (v. fig.7.1.105); — două și trei role, ca cele reprezentate schematic în figurile 7.1.106 *a*, *b*, *c*.

Arborii drepți lungi în producția de serie mare și de masă se roluiesc pe mașini specializate, fără centre, prevăzute cu trei role așezate înclinat față de axa de rotație a arborelui care se prelucrează, cum este reprezentat schematic în figura 7.1.107.

Viteza de avans longitudinal a arborelui printre role este de aproximativ 4 m/min.

Forța necesară P de apăsare a rolei pe suprafața piesei pentru efectuarea roluirii se poate calcula cu relația:

$$P = K \cdot l \cdot d \cdot 10 \quad [\text{N/mm}^2,], \qquad (7.1.109)$$

în care: K este un coeficient de roluire, a cărei valoare depinde de materialul piesei, dată în diagrama din figura 7.1.108; l — lungimea suprafeței de

Scanned with OKEN Scanner

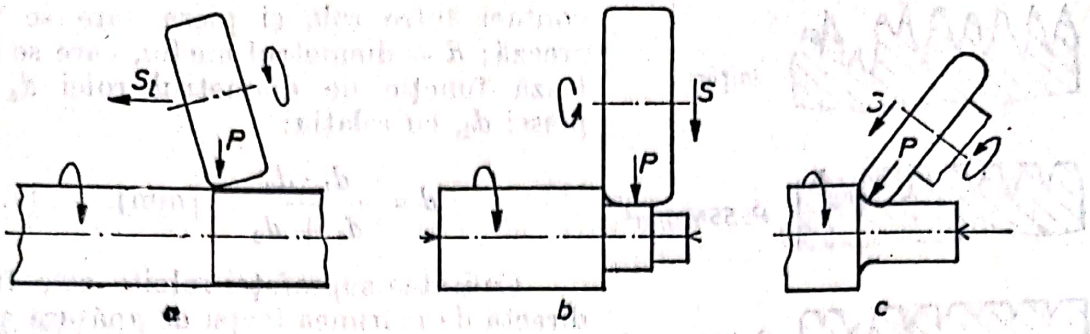


Fig. 7.1.105. Configurații de piese care se pot rolui.

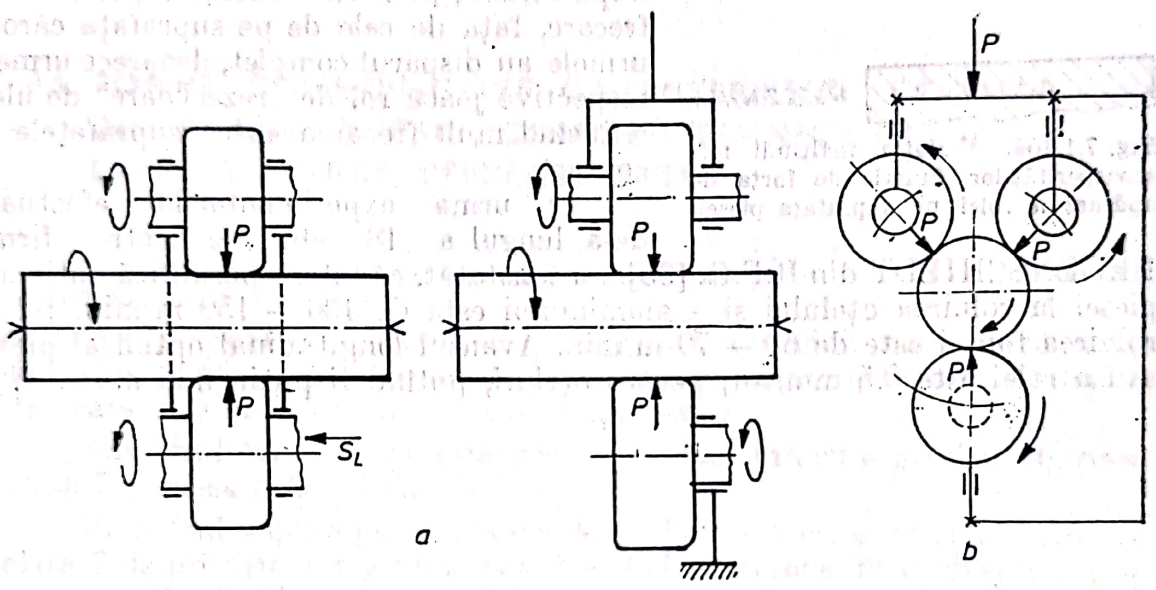


Fig. 7.1.106. Scheme ale dispozitivelor de roluit.

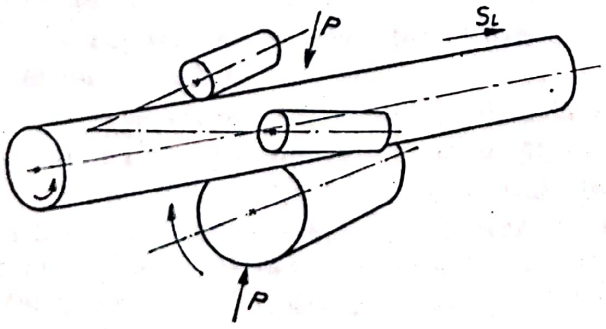


Fig. 7.1.107. Reprezentarea schematică a dispunerii rolelor mașinii de roluit fără centre.

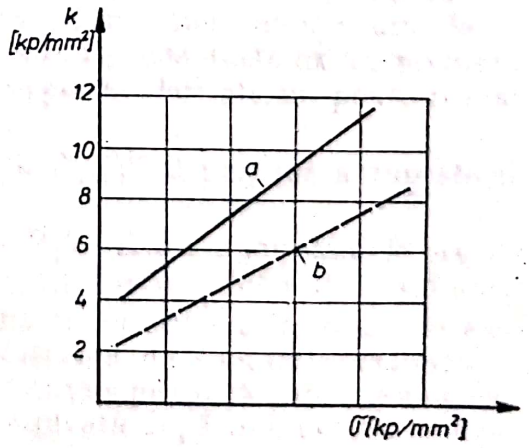


Fig. 7.1.108. Dependența coeficientului K, de rezistența de alungire σ_b a materialului piesei.

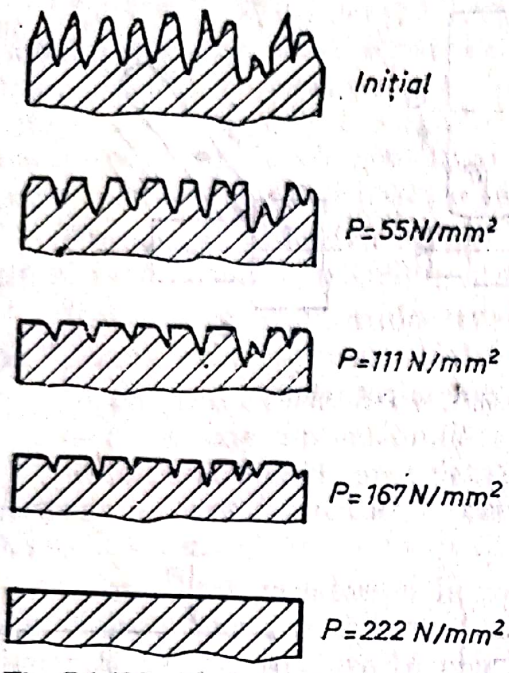


Fig. 7.1.109. Variația înălțimii microasperităților funcție de forța de apăsare a rolei pe suprafața piesei.

contact între role și piesa care se prelucrează; d — diametrul mediu, care se calculează funcție de diametrul rolei d_1 și al piesei d_2, cu relația:

$$d = \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}, \quad [\text{mm}]. \qquad (7.1.110)$$

Calitatea suprafeței roluite este funcție directă de mărimea forței de apăsare a rolei pe suprafața piesei, lucru care se vede ușor pe profilogramele din figura 7.1.109.

Suprafețele care au urme ale fundului microasperităților de ordinul a 1 — 3 μm după roluire, prezintă calități superioare de frecare, față de cele de pe suprafața cărora urmele au dispărut complet, deoarece urmele respective joacă rol de „rezervoare" de ulei, reducînd mult frecarea între suprafețele în contact.

În urma experimentărilor efectuate de-a lungul a 18 ani de către firma HEGENSCHIEDT din R.F.G. [95] s-a constatat, că viteza periferică optimă a piesei la roluirea oțelului și a aluminiului este de 130 — 150 m/min, iar la roluirea fontei este de 60 — 70 m/min. Avansul longitudinal optim al piesei sau a rolei este 0,5 mm/rot, pentru oțeluri, putînd fi puțin mai mare.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 8

PROCESE TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „BUCȘE"

8.1. FORME CONSTRUCTIVE CARACTERISTICE DE PIESE DIN CLASA „BUCȘE", CONDIȚII TEHNICE IMPUSE LA PRELUCRARE, SEMIFABRICATE

Cele mai caracteristice forme constructive de piese din clasa bucșe sînt reprezentate în figura 8.1.1

În funcție de rolul pe care-l au în componența mașinii din care fac parte, piesele din clasa bucșe trebuie să îndeplinească anumite condiții tehnice, dintre care cele mai importante sînt următoarele:

— diametrul suprafețelor exterioare se prelucrează cu o precizie cuprinsă în clasa 7 și clasa 8 de precizie;

— diametrul suprafeței interioare se prelucrează cu o precizie cuprinsă în clasa 7 de precizie, iar pentru cazurile cînd se impune un ajustaj mai precis, în clasa 1. De obicei, suprafețele interioare ale cuzineților se prelucrează la dimensiunea nominală după ce au fost presate în lagăre;

— abaterea de la concentricitatea suprafeței interioare față de suprafața exterioară nu trebuie să fie mai mare de 0,03—0,15 mm;

— abaterea de la perpendicularitatea suprafeței frontale față de axa de simetrie a suprafeței interioare nu trebuie să fie mai mare de 0,2 mm la o rază de 100 mm. Atunci cînd cuzinetul este supus și unei forțe axiale preluată de suprafețele lui frontale, abaterea de la perpendicularitate nu poate fi mai mare de 0,02—0,03 mm;

— rugozitatea suprafeței exterioare este $R_a = 3{,}2$ μm, iar a suprafeței interioare de 3,2—0,8 μm;

— rugozitatea suprafețelor frontale este $R_a = 12{,}5$ μm iar cînd ele preiau eforturi axiale, rugozitatea acestor suprafețe este cuprinsă între 3,2—1,6 μm;

O problemă tehnologică specifică prelucrării bucșelor este aceea de asigurare a concentricității suprafeței interioare față de suprafața exterioară, precum și a perpendicularității suprafețelor frontale pe axa de simetrie a suprafeței interioare. Această problemă poate fi rezolvată după trei metode de prelucrare și anume:

1 — prelucrarea suprafețelor exterioare și interioare, precum și a unei suprafețe frontale să se facă dintr-o singură prindere;

Scanned with OKEN Scanner

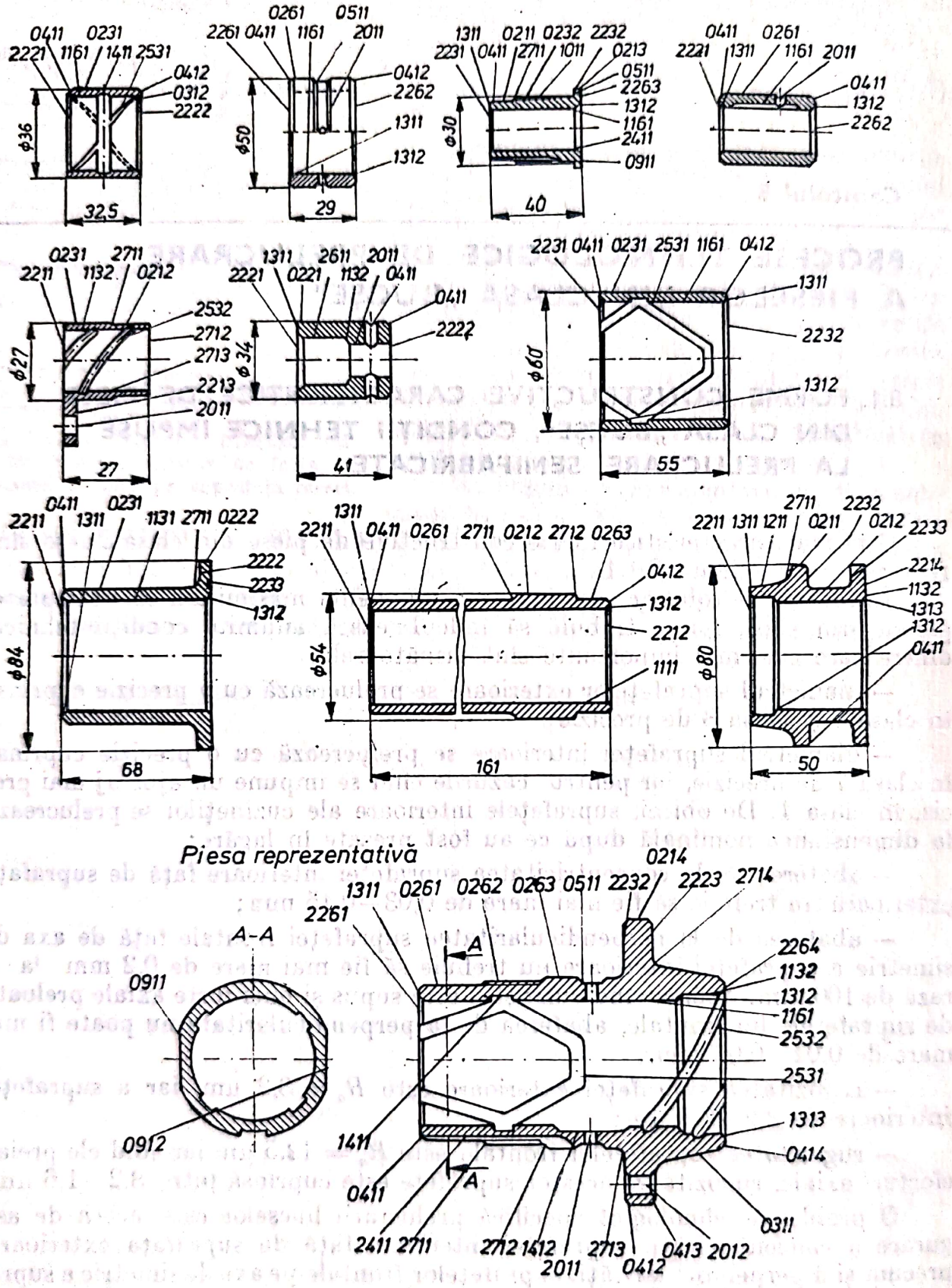


Fig. 8.1.1. Forme constructive ale pieselor din clasa bucșe.

2 — prelucrarea tuturor suprafeţelor să se facă din două prinderi sau în două operaţii, drept bază de aşezare fiind suprafaţa exterioară pentru prelucrarea suprafeţelor interioare la dimensiunea finită;

3 — prelucrarea tuturor suprafeţelor să se facă din două prinderi sau două operaţii, drept bază de aşezare fiind suprafaţa interioară pentru prelucrarea suprafeţei exterioare la dimensiunea finită.

Prelucrarea după prima metodă este posibilă atunci cînd semifabricatul din care se confecţionează bucşele este bară sau ţeavă laminată. După această metodă se face prelucrarea bucşelor în general în producţia de serie mare şi masă.

După această metodă se pot prelucra şi bucşele confecţionate din semifabricate turnate, matriţate sau forjate, însă cu un adaos mare de prelucrare la lungime pentru a putea fi posibilă fixarea cu un capăt în universal. Întrucît consumul de metal este foarte mare, acest caz se întîlneşte numai în producţia individuală sau de serie mică.

Dintre celelalte două metode enumerate mai sus, ultima prezintă cîteva avantaje faţă de a doua şi anume:

a — la fixarea bucşei pe dorn, pentru prelucrarea suprafeţei exterioare între vîrfuri se poate asigura într-o măsură mult mai mare concentricitatea şi perpendicularitatea suprafeţelor, decît atunci cînd fixarea se face în universal după suprafaţa exterioară;

b — diferitele suprafeţe exterioare ale bucşei se pot prelucra simultan cu mai multe cuţite, asigurîndu-se o concentricitate perfectă a tuturor acestor suprafeţe cu suprafaţa interioară;

c — se pot prelucra dintr-o singură prindere ambele suprafeţe frontale fie cu două cuţite simultan, fie succesiv cu un cuţit.

Forma semifabricatelor. Pentru bucşe cu diametrul interior pînă la 20 mm confecţionate din oţel, alamă, cupru, aluminiu se folosesc drept semifabricate bare laminate trase. Semifabricatele pot fi de asemenea şi turnate sau forjate individual fără alezaj.

Pentru bucşe cu diametrul interior mai mare de 20 mm, semifabricatele trebuie să fie confecţionate cu alezaj de-a dreptul din laminare sau turnate, cele mai des folosite semifabricate pentru astfel de bucşe fiind ţevile laminate. Semifabricatele turnate sub presiune pot fi realizate şi cu alezaj cu diametrul mai mare de 3 mm, funcţie de materialul folosit. Semifabricatele din masă plastică se obţin prin presare.

8.2. PROBLEME LEGATE DE PRELUCRAREA SUPRAFEŢELOR INTERIOARE A BUCŞELOR

Cu prelucrarea alezajelor tehnologul se întîlneşte la proiectarea proceselor tehnologice nu numai a pieselor din clasa „bucşe", ci aproape a tuturor pieselor de maşini.

În general prelucrarea precisă a unei găuri este mult mai dificilă decît prelucrarea unei suprafeţe exterioare. Această afirmaţie este confirmată de toate normele pentru toleranţe care prevăd, de exemplu pentru clasele 1,2 şi 3 de precizie, toleranţe de 1,5 ori mai mari pentru găuri decît pentru suprafeţe exterioare de revoluţie cu aceleaşi dimensiuni.

Dificultatea prelucrării precise a alezajelor mici constă în faptul că suprafeţele interioare se prelucrează cu scule mai puţin rigide decît cele folosite pentru prelucrarea suprafeţelor exterioare de aceleaşi dimensiuni, ceea ce impune ca prelucrarea să se facă cu regimuri de aşchiere mai uşoare.

Scanned with OKEN Scanner

Alezajele în general se execută cu burghie elicoidale. Burghie speciale se folosesc numai în cazuri deosebite ca de exemplu la executarea alezajelor cu diametru mai mic de 0,5 mm și a alezajelor adînci. De asemenea, burghie speciale se folosesc la executarea alezajelor cu diametru mai mare de 80 mm. Burghiele elicoidale cu diametrul de 50—80 mm se folosesc la executarea alezajelor din plin numai a pieselor masive pe mașini-unelte grele, foarte rigide, întrucît pentru a lucra cu avansul corespunzător diametrului este necesară o forță de așchiere foarte mare. De exemplu, pentru executarea din plin a unui alezaj cu diametrul de 50 mm într-un material cu $\sigma_r = (50—60) \cdot 10$ MPa cu un avans de 0,85 mm/rot este necesară aplicarea unei forțe axiale de 30 0000 N.

Deci, pentru că nu se poate lucra cu avansurile corespunzătoare la executarea alezajelor mari în diametru dintr-o singură trecere, se impune necesitatea executării alezajului din două treceri. Diametrul primului burghiu trebuie să fie astfel ales, încît „inima" celui de-al doilea burghiu (la a doua trecere) să lucreze în gol. Acest lucru se întîmplă atunci cînd diametrul primului burghiu este egal cu 0,2 d, unde d este diametrul final al alezajului. Pentru a se împărți însă lucrul mult mai egal pe ambele burghie se alege diametrul primului burghiu egal cu (0,5—0,6) d.

Alezajele cu diametrul de la 80 pînă la 400 mm și cu adîncimea de 150—200 mm se execută cu burghie speciale numite burghie tubulare, cu dinții așchietori așezați pe coroana frontală inelată a corpului tubular al burghiului.

La executarea alezajelor mici în diametru, forța de avans nu se calculează în funcție de rigiditatea mașinii-unelte, ci în funcție de rigiditatea burghiului. Experiența practică a arătat că ruperea burghielor mici în diametru este evitată, dacă se lucrează cu viteze mari de așchiere și cu avansuri mici.

La executarea alezajelor, în general, trebuie să se asigure;

I — forma și dimensiunea corectă a alezajului;

II — perpendicularitatea axei de simetrie a alezajului față de suprafața ei de capăt sau de bază.

I. **Cauzele principale** care provoacă erorile de diametru ale alezajului sînt:

1 — erorile de diametru ale burghiului;
2 — excentricitatea („bătaia") burghiului;
3 — excentricitatea găurii conice a arborelui mașinii de burghiat;
4 — geometria incorectă a părții așchietoare a burghiului.

Analiza acestor cauze și posibilitățile de înlăturare a lor.

1. Toleranțele diametrului burghiului sînt reglementate prin normele de precizie în vigoare.

2. Excentricitatea sau „bătaia" burghiului este cauzată fie de fixarea lui incorectă pentru burghiere, fie de necoaxialitatea părții așchietoare față de partea lui de fixare (față de coada burghiului).

Excentricitatea admisibilă la vîrful burghiului pentru burghie cu diametrul de 3—20 mm cu coada cilindrică este de 0,08 mm. Pentru burghie cu aceleași dimensiuni însă cu coada conică excentricitatea admisibilă este de numai 0,012 mm.

3. Excentricitatea maximă a alezajului conic a pinolei păpușii mobile și a arborelui mașinii de burghiat este de 0,03 mm, la o distanță de 100 mm de la capătul arborelui.

Scanned with OKEN Scanner

4. Geometria părţii aşchietoare a burghiului poate provoca mărirea diametrului alezajului din cauza neegalităţii unghiului de atac de la vîrful burghiului, precum şi neegalităţii lungimii muchiilor aşchietoare.

În condiţiile executării obişnuite a alezajelor cu diametrul de 1—18 mm, abaterile de la diametru sînt, la burghierea fără bucşe de conducere, de la 0,15—0,2 mm, iar la burghierea cu bucşe de conducere de 0,06—0,13 mm.

În majoritatea cazurilor, atunci cînd toleranţa impusă la diametrul alezajelor este mai mică decît toleranţele arătate mai sus, după burghiere se mai execută o strunjire, alezare, broşare, rectificare, lepuire, honuire sau superfinisare, în funcţie de precizia dimensională şi rugozitatea impusă.

Pentru a se putea asigura obţinerea unui alezaj precis, executarea numai cu burghiul, trebuie ca:

— toleranţa la diametrul burghiului să fie mai mică decît cea prevăzută în normele de toleranţă;

— ascuţirea părţii aşchietoare a burghiului să fie corect executată (muchiile aşchietoare să aibă aceleaşi lungimi şi aceleaşi unghiuri de atac);

— excentricitatea burghiului să fie egală sau mai mică decît cea arătată mai sus.

II. Factorii care provoacă abaterea de la perpendicularitate a axei de simetrie a alezajului faţă de suprafaţa lui de capăt sînt următorii:

— neperpendicularitatea axei de rotaţie a burghiului faţă de masa maşinii sau de suprafaţa de bază a dispozitivului în care este fixată piesa la prelucrarea pe maşinile de burghiat sau neconcordanţa axei de rotaţie a piesei cu a burghiului din pinolă;

— deformaţiile elastice ale sistemului tehnologic elastic maşină-unealtă, piesă-sculă, în timpul aşchierii;

— uzura muchiilor aşchietoare ale burghiului;

— avansul axial mai mare decît cel admisibil funcţie de rigiditatea burghiului. Mărimea erorilor provocate de primul factor depinde de precizia maşinii de burghiat sau a strungului şi a dispozitivului pentru fixarea piesei, iar mărimea erorilor provocate de factorul al doilea depinde de precizia maşinii şi rigiditatea sistemului tehnologic.

La executarea alezajelor cu diametru mic abaterea de la perpendicularitate este provocată, în cea mai mare măsură, de deformaţia burghiului. În procesul de executare a alezajului, burghiul poate fi considerat ca o grindă încastrată la ambele capete în lungul axei căreia acţionează o forţă axială. Raportul dintre $\frac{l}{d}$ a burghiului cu diametrul mai mic de 12 mm este mai mare decît valoarea critică a acestui raport la flambaj. Deci, în acele cazuri, în care valoarea forţei axiale este mai mare decît forţa critică P_k (*forţa lui Euler*), se produce o încovoiere a burghiului.

Dacă la lucrul în gol (în stare neîncărcată a maşinii) axa de simetrie a burghiului este absolut perpendiculară pe masa maşinii sau a dispozitivului, la maşinile de burghiat, atunci ca un rezultat al deformaţiei elastice a maşinii şi a burghiului, chiar din primul moment al aşchierii se produce o deviere a vîrfului burghiului.

Uzura muchiilor aşchietoare a burghiului în afară de devierea burghiului duce şi la obţinerea unei calităţi scăzute a suprafeţei prelucrate.

Scanned with OKEN Scanner

8.3. PROCESELE TEHNOLOGICE OPTIME TIPIZATE DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA BUCȘE

Procesul tehnologic de prelucrare al pieselor din clasa „bucșe" depinde într-o măsură foarte mare de forma semifabricatului folosit și de numărul de piese care trebuie executate.

Din analiza fișei tehnologice prezentate, (tab. 8.3.1) se vede că foarte multe operații și în special cele în care se prelucrează suprafața interioară sînt identice în primele două cazuri. Diferența între procesele tehnologice de prelucrare a bucșelor cu diferite forme constructive a suprafeței exterioare, constă numai în modul de prelucrare a acestor suprafețe, de reglare a strungurilor semiautomate cu mai multe cuțite. Bucșele cu suprafața interioară conică se prelucrează la interior cu zencuitoare și alezoare conice, cu avansul longitudinal pînă la opritor. Prelucrarea suprafeței interioare conice se poate face și prin strunjire pe strungul revolver, prin copiere după șablon. Dacă bucșele sînt prevăzute cu filet, acesta se poate executa cu filiera sau cu cuțitul funcție de mărimea bucșei direct pe strungul revolver. Pentru bucșa amintită trebuie prevăzută în procesul tehnologic o operație de frezare a canalelor longitudinale de la exterior și de executare a despicăturii. Bucșele din masă plastică se pot executa fie din bară, fie din țeavă sau din semifabricate presate individual. Procesul tehnologic de prelucrare al bucșelor din bară de material plastic sau țeavă este identic cu al bucșelor din metale, iar al bucșelor presate individual este diferit, prin faptul că forma semifabricatului este foarte apropiată de a piesei finite și volumul de prelucrare prin așchiere este foarte mic.

8.4. ANALIZA OPERAȚIILOR DIN PROCESELE TEHNOLOGICE OPTIME TIPIZATE DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „BUCȘE"

8.4.1. PRELUCRAREA SUPRAFEȚELOR EXTERIOARE INTERIOARE ȘI FRONTALE A BUCȘELOR

8.4.1.1. **Prelucrarea bucșelor din bare laminate.** În cazul cînd semifabricatul utilizat pentru confecționarea bucșelor este bară laminată, prelucrarea prin strunjire a bucșelor în producția de serie mare și masă se poate efectua după cum se vede în fișele tehnologice cu procesul tehnologic tipizat pe strung revolver, strung automat cu un arbore sau strung automat cu patru sau șase arbori (prelucrarea pe ultimele două strunguri este posibilă numai atunci cînd semifabricatul este bară sau țeavă laminată sau trasă).

Pentru prezentarea conținutului operației *1* din fișa tehnologică amintită se dă în cele ce urmează drept exemplu procesul tehnologic de prelucrare prin strunjire a unei bucșe pe strungul revolver cu axa capului revolver verticală. Schema de reglaj este redată în figura 8.4.1.

Operația de strunjire pe strungul revolver, după cum se vede din figura 8.4.1., se compune din mai multe faze, dintre care unele se execută simultan. Astfel în faza *1* se face avansarea barei pînă la opritorul *1* și strîngerea ei. În faza *2* se execută un alezaj de conducere a burghiului care așchiază în faza *3*. Burghiul pentru burghierea alezajului de conducere trebuie să aibă o lungime în

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.3.1

Procesul tehnologic optim tipizat pentru piesa reprezentativă (figura 8.1.1)

Nr. op.	Nr. f.	Suprafața	COD „S"	Prelucrare	COD „P"	Utilajul	COD „U"	Cod scula	Cod dispoz.	Cod verific.	R
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
01	01	frontală exterioară	2264	strunjire	3103	strung revolver	4050233	2100	7170	8500	6,3
01	02	cilindrică interioară	1161	burghiere	3103	strung revolver	4050233	2100	7170	8500	12,5
01	03	cilindrică interioară	1132	burghiere	3103	strung revolver	4050233	2300	7170	8500	12,5
01	04	cilindrică interioară	1161	strunjire	3103	strung revolver	4050233	2100	7170	8500	6,3
01	05	cilindrică interioară	1132	strunjire	3103	strung revolver	4050233	2100	7170	8500	6,3
01	06	teșitură interioară	1312	strunjire	3103	strung revolver	4050233	2100	7170	8500	12,5
01	07	teșitură interioară	1313	strunjire	3103	strung revolver	4050233	2100	7170	8500	12,5
02	01	frontală exterioară	2223	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	12,5
02	02	conică exterioară	0311	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8100	25
02	03	racordare exterioară	2714	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8400	25
02	04	frontală exterioară	2264	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	3,2
02	05	teșitură exterioară	0414	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	—	25
03	01	frontală exterioară	2261	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	6,3
03	02	teșitură interioară	1311	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	12,5
03	03	frontală exterioară	2232	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	12,5
03	04	cilindrică exterioară	0263	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	25
03	05	cilindrică exterioară	0261	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	25
03	06	cilindrică exterioară	0261	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	12,5
03	07	cilindrică exterioară	0262	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	12,5
03	08	cilindrică exterioară	0263	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	12,5
04	01	cilindrică exterioară	0261	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	6,3
04	02	cilindrică exterioară	0262	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	6,3
04	03	cilindrică exterioară	0263	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	6,3
04	04	cilindrică exterioară	0214	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	6,3
04	05	frontală exterioară	2232	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	6,3
04	06	teșitură exterioară	0411	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	12,5
04	07	teșitură exterioară	0412	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	12,5
04	08	teșitură exterioară	0413	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	12,5
04	09	racordare exterioară	2711	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	12,5
04	10	racordare interioară	2611	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	12,5
04	11	racordare interioară	2612	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	12,5
04	12	degajare exterioară	0511	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7170	8500	6,3

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.3.1 (continuare)

0	1	2	5	4	5	6	7	8	9	10	11
05	01	alezaj oarecare	2011	găurire	3401	mașină de burghiat	4050102	2300	7300	8185	3,2
06	01	alezaj oarecare	2012	găurire	3401	mașină de burghiat	4050102	2300	7300	8185	3,2
07	01	profilată exterioară	2411	frezare	3203	mașină de frezat	4050102	2300	7300	8485	6,3
08	01	profilată interioară	2532	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	—	6,3
09	01	degajare interioară	1411	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	8485	6,3
09	02	profilată interioară	2531	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	—	3,2
10	01	profilată interioară	2532	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	—	3,2
11	01	profilată interioară	2531	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	—	3,2
12	01	plană exterioară	0921	strunjire	3202	mașină de frezat	4050900	2200	7200	8400	6,3
12	02	plană exterioară	0922	strunjire	3202	mașină de frezat	4050900	2200	7200	8400	6,3
13	01	cilindrică interioară	1161	rectificare	3503	mașină de rectificat	4051231	2700	7670	8100	1,6
14	01	frontală exterioară	2264	rectificare	3503	mașină de rectificat	4051231	2700	7670	8185	3,2
14	02	cilindrică interioară	1132	rectificare	3503	mașină de rectificat	4051231	2700	7670	8185	3,2
15	01	frontală exterioară	2261	rectificare	3503	mașină de rectificat	4051231	2700	7670	8185	1,6
16	01	cilindrică exterioară	0261	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7670	8581	1,6
17	01	cilindrică exterioară	0262	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7670	8581	1,6
18	01	cilindrică exterioară	0263	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7670	8581	1,6
18	02	frontală exterioară	2232	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7670	8581	3,2
19	01	—	—	spălare	4400	—	—	—	—	—	—
20	01	—	—	control tehnic	4810	—	—	—	—	—	—
21	01	—	—	trat. termic	1500	—	—	—	—	—	—
22	01	frontală exterioară	2264	rectificare	3503	mașină rectificat	4051231	2700	7670	8581	0,8
22	02	cilindrică interioară	1161	rectificare	3503	mașină rectificat	4051231	2700	7670	8581	0,8
23	01	frontală exterioară	2261	rectificare	3503	mașină rectificat	4051231	2700	7670	8581	0,8
24	01	cilindrică exterioară	0261	rectificare	3502	mașină rectificat	4051211	2100	7670	8581	0,8
25	01	cilindrică exterioară	0262	rectificare	3502	mașină rectificat	4051211	2700	7670	8581	0,8
26	01	cilindrică exterioară	0263	rectificare	3502	mașină rectificat	4051211	2700	7670	8581	0,8
27	01	cilindrică exterioară	0263	rectificare	3502	mașină rectificat	4051211	2700	7670	8581	0,4
29	01	—	—	—	4400	—	—	—	—	—	—
29	01	—	—	—	4810	—	—	—	—	—	—

Scanned with OKEN Scanner

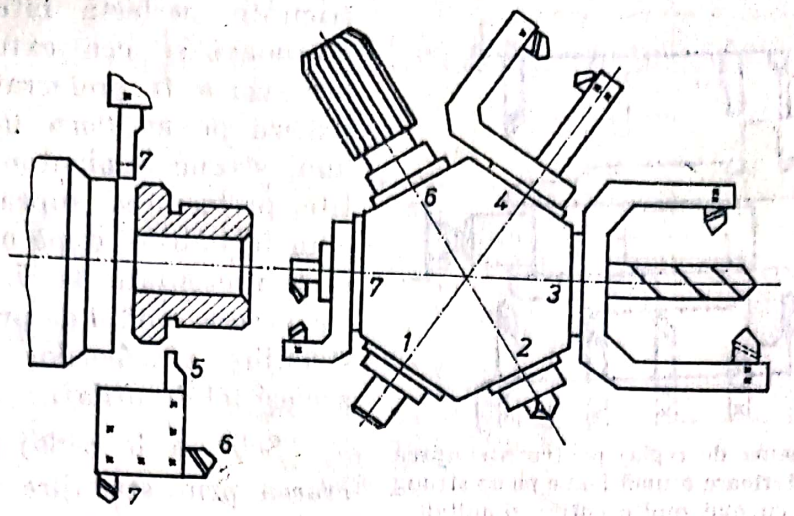


Fig. 8.4.1. Schema de reglaj pentru prelucrarea unui lot de bucşe pe un strung revolver.

consolă cît mai mică, pentru a avea o rigiditate mare pentru a asigura concentricitatea alezajului de conducere.

În faza *3* se execută trei prelucrări: burghierea, strunjirea de finisare a suprafeţei exterioare cu diametrul mare şi strunjirea de degroşare a suprafeţei cu diametrul mic. În faza *4* se execută strunjirea de finisare a suprafeţei interioare şi a celei exterioare cu diametrul mic. În faza *5* se execută strunjirea suprafeţei frontale a gulerului şi a canalului de scăpare, iar în faza următoare *6* se face alezarea suprafeţei interioare. Simultan cu alezarea se execută şi teşirea muchiei interioare a gulerului cu cuţitul *6* fixat în suportul port-cuţite din faţă de pe sania transversală. În faza *6* se execută simultan următoarele prelucrări: teşirea muchiilor suprafeţei frontale la exterior şi interior şi începe retezarea cu cuţitul *7* fixat în suportul port-cuţite din spate de pe sania transversală (acest cuţit este fixat invers, adică cu faţa de degajare în jos), pentru ca o dată cu retezarea să se execute şi teşirea muchiei exterioare a suprafeţei de capăt cu cuţitul *7* fixat în suportul port-cuţite din faţă de pe aceeaşi sanie transversală.

8.4.1.2. **Prelucrarea bucşelor din semifabricate „individuale" (debitate).** În cazul cînd semifabricatul utilizat pentru confecţionarea bucşelor este turnat, matriţat, forjat sau debitat se poate denumi semifabricat „individual".

Acesta poate fi cu sau fără adaos mare de prelucrare la lungime, care să permită prinderea lui în universal în aşa fel încît lungimea în consolă să fie mai mare cu cel puţin 10 mm decît lungimea bucşei (pentru a putea fi posibilă debitarea bucşei prelucrate).

Dacă semifabricatul are adaos mare la lungime executarea bucşei se poate face, aşa cum este prevăzut în fişa tehnologică.

În cazul cînd semifabricatul utilizat are alezaj, însă nu are adaos mare de prelucrare la lungime, procesul tehnologic tipizat de prelucrare este prevăzut în fişa tehnologică 8.3.3.

În acest ultim caz după ce s-a făcut şi broşarea suprafeţei interioare (prelucrare descrisă în 8.4.2.3.) în operaţia următoare se execută prelucrarea prin strunjire a suprafeţei exterioare şi a suprafeţelor frontale pe un strung semiautomat cu mai multe cuţite, după cum se arată acest lucru în cele ce urmează.

Suprafaţa interioară prelucrată prin broşare serveşte drept bază de aşezare pentru prelucrarea suprafeţei exterioare. Pentru a se asigura o concen-

Scanned with OKEN Scanner

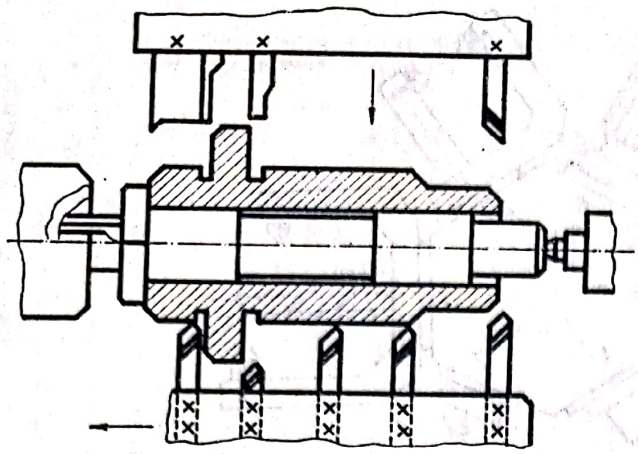


Fig. 8.4.2. Schema de reglaj pentru strunjirea suprafețelor exterioare a unei bucșe pe un strung semiautomat cu mai multe cuțite simultan.

tricitate perfectă între suprafața interioară și cea exterioară, care urmează a fi prelucrată, bucșa se fixează pe un dorn între vîrfurile unui strung semiautomat multicuțite, prelucrarea suprafeței exterioare făcîndu-se după una din schemele prezentate în 7.1.7. (în care s-a descris modul de prelucrare prin strunjire a arborilor în trepte pe același fel de utilaj).

Schema de reglaj pentru prelucrarea prin strunjire a unei bucșe pe un strung multicuțite este redată în figura 8.4.2. După schema respectivă se face atît strunjirea de degroșare cît și cea de finisare.

Introducerea bucșei pe dorn se face prin presare, pe o presă cu acționare manuală, pneumatică sau hidraulică.

Pentru reducerea timpului auxiliar consumat cu fixarea bucșei pe dorn, acesta din urmă poate fi înlocuit printr-un dorn elastic cu acționare pneumatică.

În producția de serie mică și individuală, prelucrarea bucșelor din astfel de semifabricate se face asemănător ca și în cazul descris mai sus. Semifabricatul se fixează rigid în universal pentru a se strunji suprafața frontală și a se executa burghierea sau lărgirea alezajului dacă semifabricatul a fost cu alezaj. În fazele următoare se execută strunjirea suprafeței interioare și alezarea, după care urmează fixarea pe dorn și strunjirea suprafețelor exterioare și a suprafețelor frontale, între vîrfuri.

8.4.1.3. **Prelucrarea suprafețelor interioare, exterioare și frontale a bucșelor din semifabricate „unicat", pe strunguri prevăzute cu comandă numerică.** În cazul în care semifabricatul, debitat, turnat sau matrițat nu are adaos mare la lungime (pentru a putea fi fixat în consolă în universal), suprafețele lui interioare, exterioare și frontale pot fi prelucrate și pe strunguri prevăzute cu sistem de comandă numerică.

Problema deosebit de importantă care se pune a fi rezolvată în cazul prelucrării pe astfel de mașini este legată de întocmirea programului de comandă.

Prezentarea modului de elaborare a programului de comandă numerică pentru prelucrarea prin strunjire a unei piese din clasa bucșe pe un strung carusel tip SKJ-8ENC (cu comandă numerică NS361) se face luînd drept exemplu concret piesa din figura 8.4.3.

Conform algoritmului de elaborare manuală a programului de comandă a MUCN, în prima etapă inginerul tehnolog programator analizează desenul piesei finite, precum și cel al semifabricatului (în fig. 8.4.3 peste desenul piesei finite este prezentat și desenul semifabricatului). Această analiză este necesară pentru a cunoaște mărimea adaosului de prelucrare, pentru ca funcție de aceasta, precum și de precizia dimensională prevăzută pe desenul de execuție, să se calculeze numărul de faze și de treceri.

Tot în această primă etapă a algoritmului respectiv:

— se calculează turațiile arborelui principal al mașinii funcție de viteza optimă de așchiere indicată în procesul tehnologic de prelucrare a piesei, proiectat de inginerul tehnolog;

Scanned with OKEN Scanner

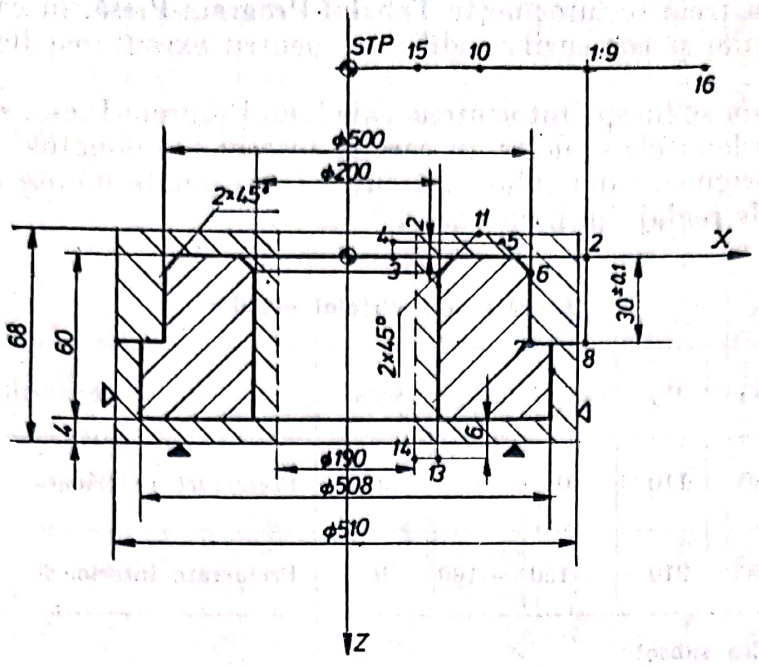


Fig. 8.4.3. Piesă.

— se alege mașina-unealtă din parcul existent funcție de forma geometrică a piesei, de dimensiunile și greutatea ei, pentru a se folosi economic toate posibilitățile tehnologice ale mașinii;

— se stabilesc sculele cu care se face prelucrarea, funcție de traiectoriile pe care ele trebuie să le parcurgă în fiecare fază a operației. Sculele respective se măsoară și se prereglează într-un aparat special de prereglare, specific fiecărui tip de MUCN.

În etapa a doua se identifică axele de coordonate ale mașinii și se stabilește originea acesteia, a piesei și a sculelor.

Se calculează lungimea traiectoriilor pentru fiecare sculă în parte față de originea sistemului de coordonate.

Tot în această etapă se întocmește schema de reglaj a sculelor la cotele calculate, prezentată în figura 8.4.4.

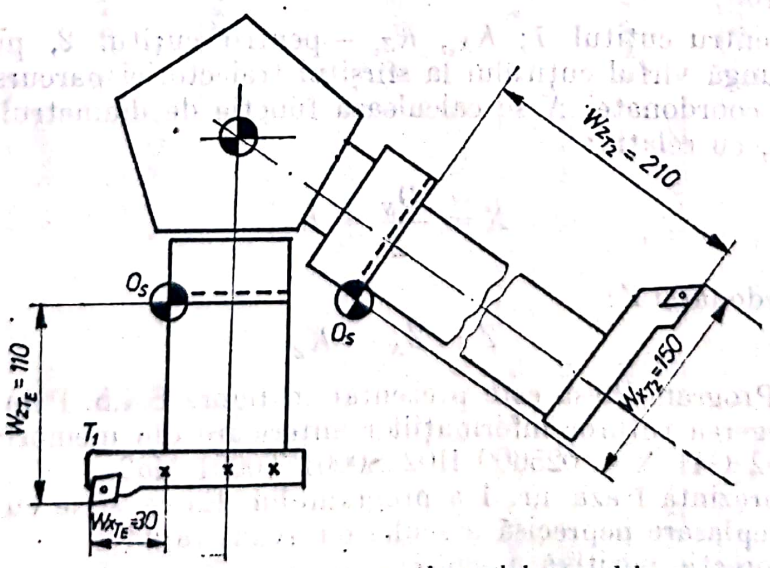


Fig. 8.4.4. Tipul și schema de reglaj a sculelor.

Scanned with OKEN Scanner

În etapa a treia se întocmește Tabelul Program-Piesă, în care se înscriu toate informațiile și comenzile codificate, pentru executarea fiecărei faze și treceri.

Înainte de a se începe întocmirea Tabelului Program-Piesă, se întocmește tabelul cu coordonatele sculelor, în care se înscriu coordonatele vîrfului acestora, față de originea suportului port-cuțite, coordonate notate cu W_x și W_z, după schema de reglaj din figura 8.4.4.

Tabelul 8.4.1

Coordonatele vîrfului sculelor

T	W_X	W_Z	K_{X_N}	K_{Z_N}	Scula	Observații
$T_1 = T_E$	30	110	0	0	a*	Prelucrare exterioară
T_2	150	210	−120	−100	b	Prelucrare interioară

* Figurile din subsol

Valorile coeficienților K_{X_N} și K_{Z_N}, care reprezintă diferența dintre coordonatele vîrfului cuțitului *1* ales drept cuțit etalon (notat cu T_E) și a celorlalte cuțite, se calculează cu relațiile:

$$K_{X_N} = W_{X_{T_E}} - W_{X_{T_N}}, \tag{8.4.1}$$

$$K_{Z_N} = W_{Z_{T_E}} - W_{Z_{T_N}}, \tag{8.4.2}$$

în care: $W_{X_{T_E}}$, $W_{Z_{T_E}}$ reprezintă coordonatele vîrfului cuțitului *1*; $W_{X_{T_N}}$, $W_{Z_{T_N}}$ — coordonatele vîrfului cuțitului $N (N = 1, 2, ...)$

Pentru exemplul dat:

$K_{X_1} = W_{X_{T_E}} - W_{X_{T_1}} = 30 - 30 = 0$; $K_{Z_1} = W_{Z_{T_E}} - W_{Z_{T_1}} = 110 - 110 = 0$;

$K_{X_2} = W_{X_{T_E}} - W_{X_{T_2}} = 30 - 150 = -120$; $K_{Z_2} = W_{Z_{T_E}} - W_{Z_{T_2}} = 110 - 210 = -100$;

K_{X_1}, K_{Z_1} — pentru cuțitul *1*; K_{X_2}, K_{Z_2} — pentru cuțitul *2*, punct în care trebuie să ajungă vîrful cuțitului la sfîrșitul traiectoriei parcurse.

Valoarea coordonatei X se calculează funcție de diametrul D_N al piesei în punctul N, cu relația:

$$X = \frac{D_N}{2} + K_X, \tag{8.4.3}$$

Valoarea coordonatei Z:

$$Z = Z_N - K_Z \tag{8.4.4.}$$

Tabelul Program-Piesă este prezentat în figura 8.4.5. Prin adresa % se comandă ștergerea tuturor informațiilor anterioare din memoria mașinii.

N001 G62 G41 X + 025600 H02 S0001 T0001 M42

N001 reprezintă fraza nr. 1 a programului. Ea se scrie cu trei decade.

G62 — deplasare neprecisă a sculei cu avans rapid;

G41 — corecție pozitivă a sculei;

Scanned with OKEN Scanner

Piesa nr. 0001	Programul piesei Mașina SKJ 8 ENC												Coordonata punctului curent	Observații
Denumirea coroană	Format: N3	G8	X7	Z7	H2	F4	S4	T4	M5					
N	G	G	G	X	Z	H	F	S	T	M	M	D_N, Z_N		
%														
N001	G62	G41		X+025600		H02		S0001	T0001	M42		$D_N = 512$	$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{512}{2} + 0 = 256$	
N002	G61	G41			Z+000000	H01		S0001		M04	M08	$Z_N = 0$	$Z = Z_N - K_Z = 0 - (0) = 0$	
N003	G65	G41		X+009600		H02	F0001	S0001		M04		$D_N = 192$	$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{192}{2} + 0 = 96$	
N004	G65	G41			Z+000200	H01	F0001	S0001		M04		$Z_N = 2$	$Z = Z_N - K_Z = 2 - (0) = 0$	
N005	G61	G41		X+024600		H02		S0002		M04		$D_N = 492$	$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{492}{2} + 0 = 246$	
N006	G65	G41	G79	X+025000		H02	F0002	S0002		M04		$D_N = 500$	$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{500}{2} + 0 = 250$	
N007	G65	G41			Z−003000	H03	F0002	S0002		M04		$Z_N = -30$	$Z = Z_N - K_Z = -30 - 0 = -30$	
N008	G65	G41		X+025600		H02	F0002	S0002		M04		$D_N = 512$	$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{512}{2} + 0 = 256$	
N009	G63	G40			Z+025000			S0002		M04		$Z_N = 250$	$Z = 250 - 0 = 250$	
N010	G61	G41		X−001600		H04			T0002			$D_N = 208$	$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{208}{2} + (-120) = -16$	
N011	G61	G41			Z+010200	H05		S0003		M04		$Z_N = 2$	$Z = Z_N - K_X = 2 - (-100) = 102$	
N012	G65	G41	G79	X−002000		H04	F0003	S0003		M04		$D_N = 200$	$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{200}{2} + (-120) = -20$	
N013	G65	G41			Z+003400	H05	F0004	S0003		M04		$Z_N = 70$	$Z = Z_N - K_Z = -66 - (-100) = 34$	
N014	G66	G41		X−002500		H04	F0004	S0003		M04		$D_N = 190$	$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{190}{2} + (120) = -25$	
N015	G63	G40			Z+025000			S0003		M04	M09			STOP RĂCIRE
N016	G63			X+040000						M05				STOP TURAȚIE
N017										M30				STOP PROGRAMĂ CU ÎNTOARCEREA BENZII LA CAP

Fig. 8.4.5. Tabelul Program-Piesă.

Scanned with OKEN Scanner

X + 02500 — coordonata vîrfului cuțitului în punctul *1* (v. fig. 8.4.5). Valoarea ei se calculează cu relația:

$$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{512}{2} + 0 = 256 \text{ mm}.$$

Pe desenul piesei se observă că diametrul semifabricatului este ∅ 510 mm, iar pentru calculul coordonatei *X* diametrul s-a luat cu 2 mm mai mare, pentru că atunci cînd cuțitul coboară în punctul *2* de pe axa *X*, să nu lovească suprafața frontală a piesei.

H02 — corecția nr. 2 alocată sculei T0001 pentru coordonata *X* (cifra 2 indică numărul comutatorului de pe panoul de comandă al mașinii pe care muncitorul îl acționează manual).

S0001 — turația *1* calculată funcție de viteza optimă de așchiere și de diametrul suprafeței care se prelucrează.

T0001 — cuțitul *1*.

Din punctul *STP* de schimbare a cuțitului prin rotirea capului revolver, cuțitul *1* se deplasează cu avans rapid în punctul *1* în direcția axei de coordonate *X* situat la distanța de 256 mm.

În fraza următoare se dau comenzile pentru deplasarea cuțitului în punctul *2*.

N002 G61 G41 Z + 000000 H01 S0001 M04 M08

Fraza are următorul conținut:

G61 — deplasare precisă cu avans rapid.

Z + 000000 — deplasare de-a lungul axei *Z*. Coordonata punctului, a cărei valoare se calculează cu relația:

$$Z = Z_N - K_Z = 0 - (0) = 0; \ (Z_N = 0).$$

Funcțiile explicate anterior nu se mai reiau.

M04 — sensul de rotație al arborelui principal al mașinii-unelte.

M08 — start răcire.

H01 — corecția nr. 1, pozitivă, alocată sculei T0001 pentru coordonata *Z* (cifra 1 indică numărul comutatorului de pe panoul de comandă al mașinii-unelte, pe care muncitorul îl acționează manual).

În faza următoare cuțitul se deplasează din punctul *2* în punctul *3*, conform comenzii din fraza *3*:

N003 G65 G41 X + 009600 H02 F0001 S0001 M04

G65 — deplasare precisă cu avans de lucru a cărei valoare este exprimată prin adresa F0001. Deplasarea are loc în punctul *3*, a cărui coordonată pe axa *X* este X + 009600.

Avansurile F0001-F0005 și turațiile S0001-S0009 se stabilesc de la potențiometrele fixate pe panoul electric de comandă al mașinii.

După prelucrarea suprafeței frontale a piesei, cuțitului i se impune a se deplasa în punctul *4* situat deasupra axei *X* cu o mărime *Z* = 2 mm. Fraza prin care se dă comanda corespunzătoare este:

N004 G65 G41 Z + 000200 H01 F0001 S0001 M04

Valoarea coordonatei *Z* se determină cu relația cunoscută:

$$Z = Z_N - K_Z = 2 - 0 = 2.$$

Deplasarea cuțitului din punctul *3* în punctul *4* se face cu avans de lucru, deoarece distanța pînă la punctul respectiv este prea mică.

Scanned with OKEN Scanner

În faza în care urmează, cuțitul trebuie să se deplaseze de-a lungul axei X cu avans rapid din punctul *4* în punctul *5*, din care urmează în faza următoare să realizeze teșirea de 2/45°. Fraza care conține această comandă este:

N005 G61 G41 X + 024600 H02 S0002 M04

Coordonata X a punctului *5* se calculează cu relația:

$$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{500 - (2 \cdot 4)}{2} + 0 = 246.$$

Din punctul *5* cuțitul trebuie să se deplaseze în punctul *6*, realizînd teșirea muchiei. Punctul *6*, așa cum se observă pe schița din figura 8.4.3 este situat la distanța de 250 mm de originea piesei OP, distanță egală cu raza suprafeței care urmează să se prelucreze în continuare.

Fraza 6 are următorul conținut:

N006 G65 G41 G79 X + 025000 H02 F0002 S0002 M04

Deplasarea cuțitului din punctul *5* în *6* pentru realizarea teșirii se efectuează simultan pe axa X și Z pe baza comenzii dată prin adresa:

G79 — interpolare liniară negativă la 45°.

Mișcările simultane pe două direcții (pe axa X și Z) se comandă prin adresele G78 și G79.

Urmează prelucrarea suprafeței exterioare a piesei la diametrul de 500 mm. Comanda pentru efectuarea acestei prelucrări este conținută în fraza 7:

N007 G65 G41 Z-003000 H03 F0002 S0002 M04

Deplasarea cuțitului pînă în punctul *7* cu coordonata $Z = 30$ mm se efectuează cu avans de lucru a cărui valoare este dată prin adresa F0002.

În fraza 8:

N008 G65 G41 X + 025600 H02 F0002 S0002 M04

este dată comanda de deplasare radială cu avans de lucru a cuțitului din punctul *7* în punctul *8* situat la o distanță cu 1 mm mai mare decît diametrul semifabricatului, pentru că în momentul în care se oprește cuțitul, vîrful lui să nu mai fie în contact cu piesa.

Fraza 9:

N009 G63 G40 Z + 025000 S0002 M04

Din punctul *8* cuțitul se deplasează în punctul *9* în direcția axei Z cu avans rapid comandat prin adresa G63.

Acest punct este situat la o distanță egală cu $Z = 250$ mm deasupra axei X, punct în care are loc schimbarea sculei pentru prelucrarea suprafeței interioare a piesei. S-a ales această distanță de 250 mm pentru că la rotirea capului revolver, cuțitul al doilea cu $W_Z = 210$ mm, să nu lovească suprafața piesei.

Din punctul *9* cuțitul T0002 se deplasează cu avans rapid precis pînă în punctul *10* la $D_N = 208$ mm.

Conținutul frazei 10 este următorul:

N010 G61 G41 X-001000 H04 T0002

Coordonata punctului *10* în care se află vîrful cuțitului *2* se află cu relația:

$$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{208}{2} + (-120) = -16 \text{ mm}.$$

În această frază este inclusă și comanda pentru preselecția sculei *2* prin adresa T0002.

Scanned with OKEN Scanner

Din punctul *10* cuțitul se deplasează în direcția axei *Z* în punctul *11* situat la o distanță de 2 mm deasupra axei *X*.

Conținutul frazei în care este inclusă comanda de deplasare a sculei în acest punct este următorul:

N011 G61 G41 Z + 010200 H05 S0003 M04

Valoarea coordonatei *Z* a punctului *11* se calculează cu relația:

$$Z = Z_N - K_Z = 2 - (-100) = 102 \text{ mm},$$

(v. tab. 8.4.1 cu valoarea coeficientului K_{Z_N} al sculei *2*).

În această frază este inclusă și instrucțiunea de preselecție a turației *3*, precum și cea de corecție a sculei, H05.

În fraza următoare a operației se execută teșirea muchiei. Fraza care conține instrucțiunile pentru această prelucrare este următoarea:

N012 G65 G41 G79 X-002000 H04.F0003 S0003 M04

Deplasarea cuțitului din punctul *11* în *12* are loc simultan pe axele *X* și *Z*, deplasare impusă prin adresa G79. Coordonata pe axa *X* a punctului *12* este:

$$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{200}{2} + (-120) = -20 \text{ mm}.$$

(v. tab. 8.4.1 cu valoarea coeficientului K_{X_N} al sculei *2*).

După executarea teșiturii urmează prelucrarea suprafeței interioare la diametrul de 200 mm.

Instrucțiunile pentru această prelucrare sînt cuprinse în fraza 13.

N013 G5 G41 Z + 003400 H05 F0004 S0003 M04

Deplasarea cuțitului din punctul *12* în *13* se face cu avans de lucru F0004. În această frază s-a inclus și instrucțiunea de preselectare a corecției H05. Valoarea coordonatei punctului *13* pe axa *Z* s-a calculat cu relația:

$$Z = Z_N - K_Z = -66 - (-100) = 34 \text{ mm}.$$

La sfîrșitul prelucrării suprafeței interioare cuțitul din punctul *13* se deplasează radial cu avans de lucru imprecis în punctul *14*, lucru prevăzut în fraza 14.

N014 G66 G41 X-002500 H04 F0004 S0003 M04

Instrucțiunea de deplasare imprecisă cu avans de lucru F0004 este dată prin adresa G66.

Valoarea coordonatei punctului *14* pe axa *X* s-a calculat cu relația:

$$X = \frac{D_N}{2} + K_X = \frac{190}{2} + (-120) = -25 \text{ mm},$$

(v. de asemenea tab. 8.4.1 cu valoarea coeficientului K_{X_N} pentru cuțitul *2*).

În fraza următoare:

N015 G63 G40 Z + 025000 S0003 M04 M09

sînt date următoarele instrucțiuni:

G63 — pentru deplasarea cuțitului cu avans rapid în punctul *15* în care are loc schimbarea sculei;

M09 — stop răcire, deoarece s-a terminat prelucrarea.

Din punctul *15* sania cu capul revolver trebuie să se retragă cu avans rapid în punctul *16*, cu $X = 400$ mm, pentru a se crea spațiu corespunzător manipulării piesei cu macaraua (a desprinderii de pe masa mașinii, a întoar-

Scanned with OKEN Scanner

cerii cu suprafața prelucrată în jos pentru a se prelucra și celelalte suprafețe care au rămas neprelucrate în această prindere).

Deplasarea în punctul *16* este comandată prin instrucțiunile din fraza 16:

N016 G63 G40 X + 040000 M05

în care M05 — stop turație (a arborelui principal al mașinii).

Programul pentru aceste prelucrări ale piesei se termină cu fraza 17:

N017 M30

Prin adresa M30 se comandă oprirea (stop) programului cu reîntoarcerea benzii perforate pînă la capăt unde apar semnul %.

Pentru determinarea originii piesei (*OP*) (v. fig. 8.4.3) se strunjește cu cuțitul $T_1 = T_E$ suprafața frontală a piesei și din comutatorul de decalare a originii pe axa Z se face cu valoarea afișată pentru cota Z în această poziție a sculei să fie zero ($Z = 000000$).

Cu același cuțit se strunjește un diametru oarecare și se măsoară fără a deplasa cuțitul pe axa X. Valoarea afișată trebuie să fie egală cu diametrul strunjit împărțit la 2 (adică cu raza suprafeței strunjite).

În cazul în care este afișată altă valoare, atunci din comutatorul de decalare a originii pe axa Z se face ca valoarea afișată pentru Z să fie egală cu diametrul măsurat împărțit la 2 $\left(\text{adică } \frac{D_{măs}}{2} = Z_{afișat}\right)$.

8.4.2. PRELUCRAREA SUPRAFEȚELOR INTERIOARE A BUCȘELOR

După prelucrarea prin burghiere sau cea de lărgire cu un zencuitor, urmează după cum se vede în fișa tehnologică cu procesul tehnologic tipizat (tabelele 8.3.1 și) prelucrarea prin strunjire interioară, care în producția de serie mare și masă, se face simultan cu strunjirea suprafeței exterioare. După prelucrarea prin strunjire se face în faza următoare prelucrarea prin alezare.

În cazul cînd prelucrarea bucșelor se face după procesul tehnologic tipizat prezentat în fișa tehnologică din tabelul 8.3.1, după prelucrarea suprafeței interioare prin burghiere (cînd semifabricatul nu are alezaj) sau lărgirea cu zencuitorul (cînd semifabricatul are alezaj), precum și după prelucrarea suprafeței frontale, în operația următoare se face broșarea.

În cele ce urmează se prezintă cu unele amănunte prelucrările amintite mai sus.

8.4.2.1. **Prelucrarea prin strunjire a suprafețelor interioare a bucșelor.** Prelucrarea prin strunjire a suprafețelor interioare se poate face după următoarele scheme de reglare, funcție de dimensiunile piesei, precizia impusă și de tipul de producție.

Schema cea mai frecvent utilizată în acest scop pentru strunjirea interioară a bucșelor cu lungimea mică în raport cu diametrul este cea din figura 8.4.6, în care se vede că piesa se rotește, iar scula face mișcarea de avans longitudinal. Atunci cînd cuțitul are un unghi de atac $\varkappa$ intrarea în așchie se face progresiv. Datorită acestui lucru componenta F_y a forței de așchiere crește și ea progresiv, producînd o săgeată la capul liber al cuțitului. Săgeata atinge valoarea maximă cînd cuțitul începe să aschieze cu o adîncime de așchiere constantă. Acest lucru face, ca la capătul alezajului să se formeze o rază, mai mare sau mai mică, funcție de adîncimea de așchiere la reglajul static. La fel se întîmplă și la capătul celălalt al alezajului la ieșirea din așchie a cuțitului.

Scanned with OKEN Scanner

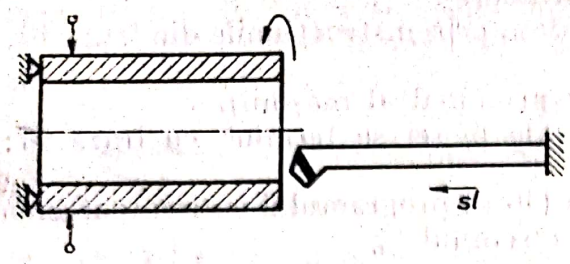


Fig. 8.4.6. Schema de reglaj pentru strunjirea interioară a bucşelor scurte.

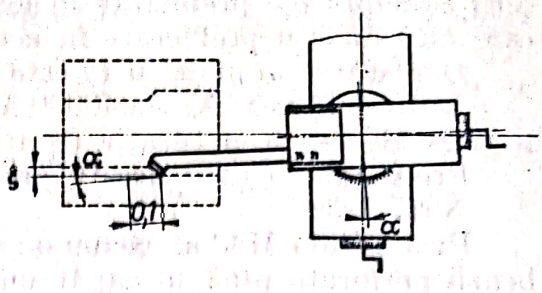


Fig. 8.4.7. Schema de reglaj pentru strunjirea interioară a bucşelor scurte şi reglarea la dimensiune a cuţitului cu ajutorul saniei superioare.

Dacă adaosul de prelucrare este uniform dispus pe suprafaţa care se prelucrează, se poate obţine un alezaj cilindric.

Reglarea la dimensiune se face prin aşchii de probă, prin deplasarea radială a cuţitului.

Pentru a se putea obţine o precizie dimensională mare este necesar ca deplasarea radială a cuţitului să se facă nu cu suportul transversal, ci cu cel superior, înclinat la un unghi α. Valoarea unghiului α (după cum se vede în fig. 8.4.7) se determină în funcţie de mărimea ξ cu care se doreşte să se mărească raza alezajului care se prelucrează, la o deplasare a suportului, de exemplu cu 0,1 mm, deplasare pe care o reprezintă o gradaţie a tamburului gradat al suportului respectiv.

Astfel, dacă se ia $\xi = 0{,}005$, atunci $\alpha = \frac{\xi}{0{,}1} = 0{,}05$, pentru care $\alpha = 2°51'$.

Strunjirea interioară a bucşelor cu lungimea mult mai mare decît diametrul alezajului se face după schema reprezentată în figura 8.4.8.

La lucrul după această schemă, săgeata maximă a barei port-cuţit apare după ce cuţitul s-a angajat în aşchie. Ca şi în cazul precedent, se obţine o rază la capătul găurii, după care, pe măsură ce cuţitul avansează longitudinal, se apropie de bucşa de reazem şi săgeata se micşorează, lucru care duce la mărirea adîncimii de aşchiere şi deci la mărirea diametrului. Datorită acestui fapt se obţine o gaură conică cu vîrful conului înspre păpuşa mobilă.

Dacă alezajul bucşei de conducere a barei portcuţit este excentrică faţă de axa de rotaţie a arborelui principal al maşinii, respectiv a bucşei care se prelucrează, se obţine un alezaj excentric faţă de suprafaţa exterioară.

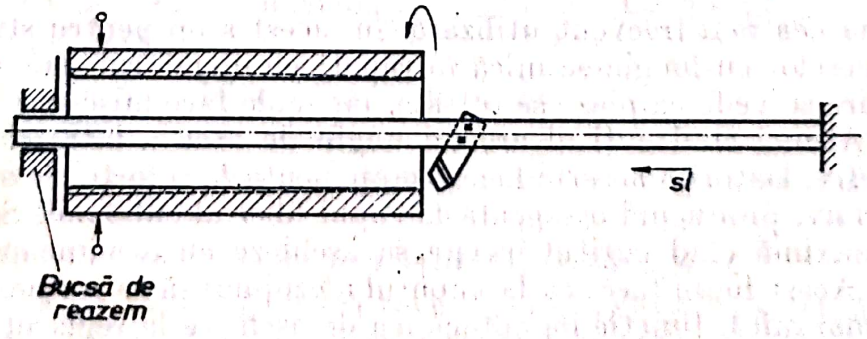


Fig. 8.4.8. Schema de reglaj pentru strunjirea interioară a bucşelor lungi.

Scanned with OKEN Scanner

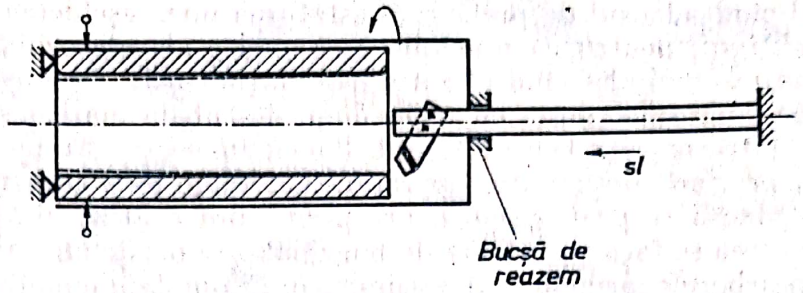


Fig. 8.4.9. Schema de reglaj pentru strunjirea interioară a bucșelor lungi cu reazem mobil al cuțitului în fața bucșei.

O schemă similară cu precedenta este reprezentată în figura 8.4.9, în care se vede că bucșa de reazem a barei portcuțit este așezată în fața piesei care se prelucrează. Acest lucru face ca săgeata barei portcuțit la intrarea în așchie să fie minimă și să crească, pe măsură ce cuțitul se apropie de capătul alezajului, ceea ce duce la obținerea unui alezaj conic. De data aceasta însă, vîrful conului este îndreptat spre păpușa fixă. Această schemă conduce la rezultate foarte bune dacă prelucrarea se face cu scule cu două sau mai multe muchii așchietoare, asigurîndu-se o orientare corectă a sculei la începutul procesului de așchiere. Orientată corect scula la început față de axa de rotație a piesei, mai departe se autoorientează obținîndu-se astfel un alezaj concentric față de suprafața exterioară, dacă alezajul bucșei de reazem nu este excentric față de axa de rotație a piesei.

În sfîrșit, schema de reglaj din figura 8.4.10 este principial aceeași cu precedenta, numai cu bucșa de reazem a barei port-cuțit nu se mișcă o dată cu piesa, ci stă fixă în fața acesteia într-o lunetă.

La lucrul după această schemă se vede, că chiar dacă axa de simetrie a bucșei de reazem nu este concentrică cu axa de rotație a arborelui principal, alezajul piesei nu se obține excentric, însă poate să rezulte conic cu vîrful conului îndreptat spre păpușa fixă.

Și în cazul cînd strunjirea se face cu bare port-cuțit rezemate în diverse feluri, se observă din schemele reprezentate că cuțitul este fixat înclinat în bara port-cuțit, pentru a se putea face o reglare la dimensiuni foarte precisă.

8.4.2.2. **Prelucrarea prin alezare a suprafețelor interioare a bucșelor.** Atît precizia de prelucrare cît și rugozitatea suprafeței prelucrate prin alezare depinde într-o foarte mare măsură de mărimea adaosului de prelucrare. Se recomandă ca adaosul de prelucrare, pentru alezaje cu ∅ 5—80 mm să fie pentru prelucrarea de degroșare de la 0,25—0,5 mm pe diametru, iar pentru alezarea de finisare de la 0,05—0,15 mm.

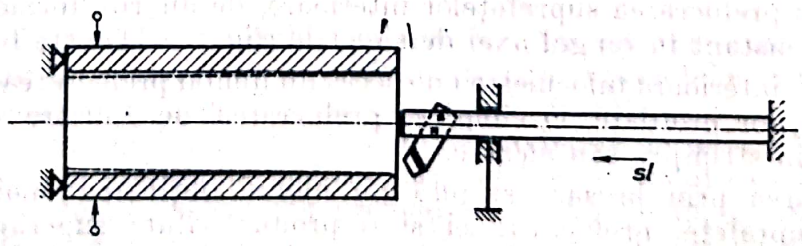


Fig. 8.4.10. Schema de reglaj pentru strunjirea interioară a bucșelor lungi cu reazemul fix al cuțitului așezat în fața bucșei.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul cînd adaosul de prelucrare este prea mic, aşchierea nu decurge în bune condiţiuni, pentru că muchiile aşchietoare ale alezorului au o rază mică de rotunjire, mai ales cînd alezorul este puţin tocit, ceea ce face ca ele să alunece pe suprafaţa piesei cu o presiune destul de mare, aşchiind doar periodic (cu întreruperi). Datorită faptului că în acest caz în procesul de aşchiere apar presiuni însemnate, suprafaţa alezajului pe o adîncime oarecare se ecruisează, lucru ce provoacă o uzură prematură a alezorului de finisare.

Dacă alezarea se face pe maşina de burghiat sau pe strung, alezorul fiind fixat rigid în arborele principal al maşinii sau în pinolă, diametrul alezajului alezate se obţine mai mare decît diametrul alezorului. Acest lucru se datoreşte mai multor cauze dintre care amintim: necoaxialitatea axei de simetrie a alezajului ce se prelucrează cu axa de simetrie a alezorului; bătaia alezorului (necoaxialitatea axei de simetrie a alezorului cu cea a arborelui principal al maşinii de burghiat sau cu axa de simetrie a pinolei), ascuţirea incorectă (neuniformă) a dinţilor alezorului; depunerea pe tăiş; neuniformitatea adaosului de prelucrare etc.

Pentru a se evita lărgirea alezajelor ce se alezează se recomandă a se folosi aşa-numitele portalezoare mobile care fac o legătură elastică între alezor şi arborele principal al maşinii de burghiat sau pinola strungului. În acest fel se înlătură influenţa necoaxialităţii axei de simetrie a alezajului cu a alezorului, precum şi influenţa alezorului asupra lărgirii alezajului.

Dacă alezarea se face cu alezoare de mînă, lărgirea alezajului este foarte mult micşorată. Acest lucru se explică prin faptul că s-a înlăturat complet influenţa necoaxialităţii şi bătăii alezorului, cît şi a depunerilor de tăiş. La alezarea cu mîna, viteza de aşchiere este mică, fapt ce nu favorizează depunerea pe tăiş.

Precizia de prelucrare prin alezare este cuprinsă în clasa 6 şi 7 de precizie, funcţie de diametrul alezajului. La diametre mai mici, precizia de prelucrare este mai mare.

Rugozitatea suprafeţei obţinute în urma alezării de degroşare este cuprinsă în clasa 7 ($R_a = 1{,}6$ μm); la alezarea de finisare calitatea suprafeţei este cuprinsă în clasa 6 (0,8—0,4 μm).

Viteza de aşchiere la alezare se recomandă să fie între 8—10 m/min, iar avansul de la 0,5—3,5 mm/rot şi chiar mai mult. Cu un astfel de regim de aşchiere se poate obţine o calitate a suprafeţei arătate mai sus şi o precizie de prelucrare în limitele toleranţelor cuprinse în clasa 7—6 de precizie.

Prelucrarea prin alezare este scumpă din cauza costului ridicat al alezoarelor, precum şi din cauza productivităţii scăzute în comparaţie cu alte metode de prelucrare. Acest lucru face ca prelucrarea prin alezare a alezajelor să nu fie folosită frecvent în producţia de masă şi serie mare.

8.4.2.3. **Prelucrarea prin broşare a suprafeţelor interioare a bucşelor.** Metoda cu exclusivitate folosită atît în producţia de masă, cît şi cea de serie mare, pentru prelucrarea suprafeţelor interioare, de diferite forme geometrice cu profilul constant în lungul axei de simetrie (fig. 8.4.11) este broşarea.

Broşarea interioară înlocuieşte cu succes nu numai prelucrarea prin mortezare a alezajelor profilate, ci chiar şi prelucrarea de finisare a alezajelor cilindrice prin strunjire sau alezare.

Prelucrarea prin broşare asigură nu numai obţinerea unei precizii şi calităţi a suprafeţei prelucrate, ci şi o productivitate superioară tuturor metodelor clasice de prelucrare a suprafeţelor interioare, ea înlocuind printr-o singură operaţie o serie de alte operaţii.

Scanned with OKEN Scanner

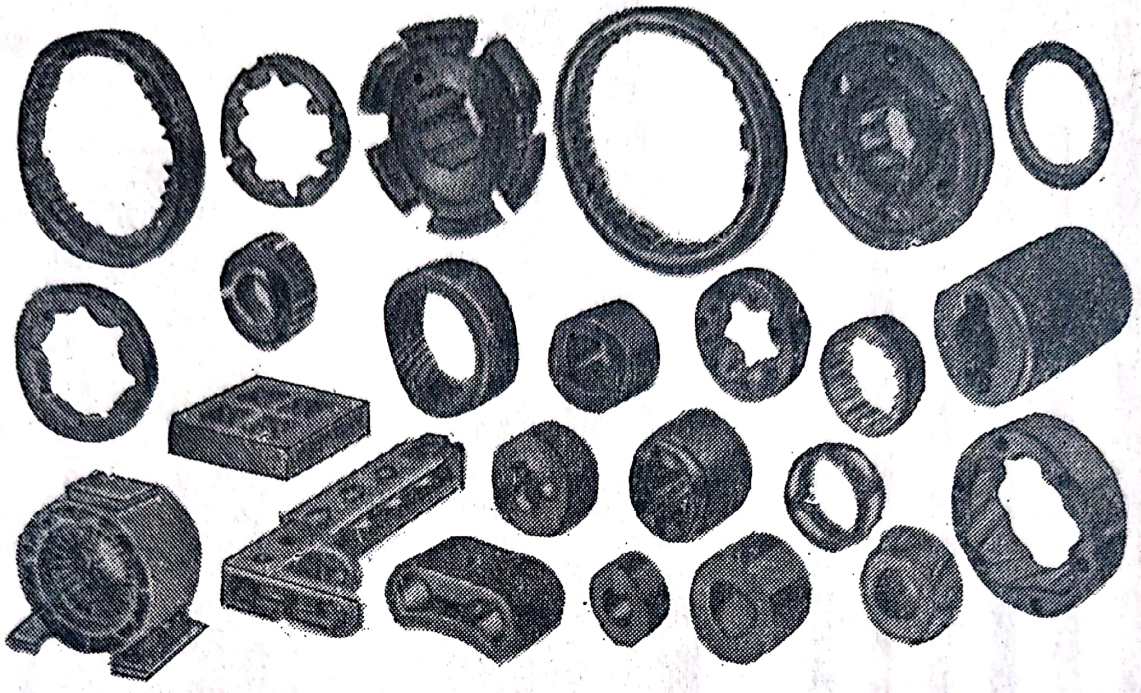


Fig. 8.4.11. Piese cu suprafețe interioare prelucrate prin broșare.

Prelucrarea prin broșare este foarte simplă, lucru care permite folosirea unor muncitori cu o calificare destul de scăzută.

La cursul de *Teoria aşchierii şi scule* sînt prezentate o serie de broșe, de diferite forme geometrice (fig. 8.4.12) împreună cu calculul de dimensionare a lor, iar în cel de *Maşini-unelte* sînt prezentate maşini de broșat (fig. 8.4.13), ceea ce face ca în cele ce urmează să se trateze numai tehnologia de prelucrare cu ajutorul broșelor.

În cazul prelucrării prin broșare interioară, alezajul și una din suprafețele frontale ale piesei se prelucrează în prealabil. Suprafața frontală se prelucrează pentru a se crea o bază de așezare a piesei în mașina de broșat.

Adaosul de prelucrare ce se lasă în operația precedentă broșării la alezaje cu diametrul cuprins între 10—50 mm este de 0,3—1,0 mm pe diametru, iar pentru diametre mai mari de 50 mm, mărimea adaosului de prelucrare este de la 1,0—1,2 mm.

Dacă alezajele au fost strunjite în operația precedentă broșării, adaosul de prelucrare lăsat pentru broșare este de numai 0,25—0,5 mm pe diametru.

În cazurile cînd se prelucrează prin broșare alezaje cu canale de pană sau cu caneluri, într-o singură trecere a broșei se poate îndepărta un adaos de prelucrare de 3—6 mm.

Viteza de aşchiere variază de la 2—15 m/min în funcție de profilul broșei și suprainălțarea pe dinte, precum și funcție de materialul din care este confecționată piesa ce se prelucrează.

8.4.2.4. **Prelucrarea filetelor interioare.** Nu numai executarea însăși a suprafețelor interioare este mai dificilă decît a suprafețelor exterioare similare ca dimensiuni și formă, ci și executarea filetelor.

Dacă executarea filetelor exterioare în producția de serie mare și de masă este posibilă prin mai multe metode (prin aşchiere): cu cuțitul clasic profilat, cu cuțitul pieptene circular sau prismatic, cu cap de filetat în vîrtej, prin frezare cu freze disc sau melc, prin rectificare cu discuri de rectificat cu o singură spiră sau cu mai multe, prin rulare (cu una sau două role cu diametrul

Scanned with OKEN Scanner

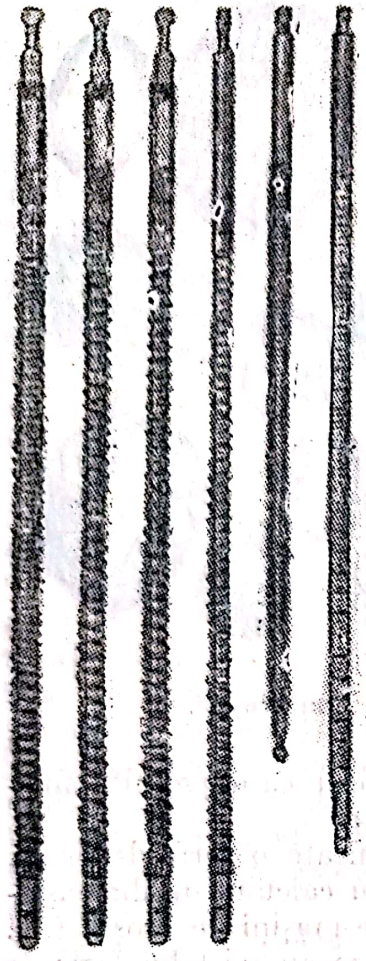


Fig. 8.4.12. Exemple de broșe pentru interior.

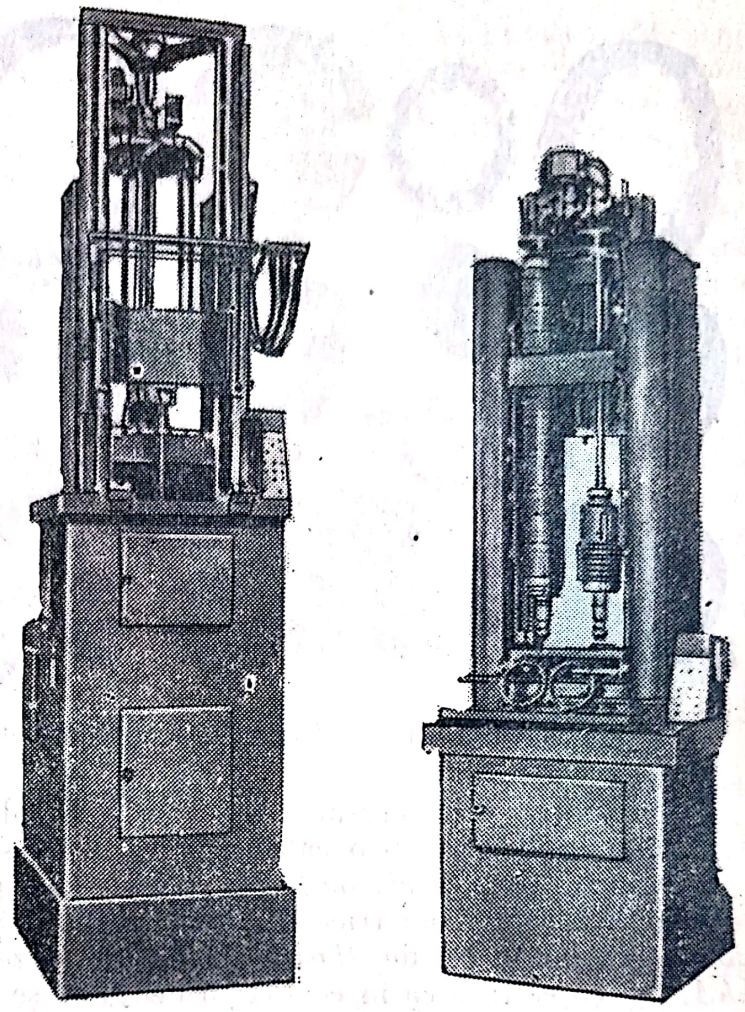


Fig. 8.4.13. Mașini de broșat suprafețe interioare.

egal, cu două role cu diametrul diferit, cu bacuri plane, cu bacuri circulare), executarea filetelor interioare, exceptînd cele cu diametre mari, se face în general, așa cum s-a făcut tot timpul, *prin tarodare*. Dacă la executarea filetelor exterioare o metodă mai puțin productivă din cele expuse poate fi înlocuită cu o metodă mai productivă, la executarea filetelor interioare nu rămîne altceva de făcut decît a perfecționa această unică metodă pentru a face ca tarodarea să nu fie o frînă în introducerea sau în dezvoltarea automatizării proceselor tehnologice de prelucrare sau asamblare.

Observații lungi, minuțioase efectuate în producție asupra proceselor de filetare interioară, au condus la concluzia, că fără a ține seama de simplitatea automatizării filetării interioare nu totdeauna este posibil să se obțină rezultatul scontat, mai ales în cazul *filetelor precise*. De multe ori se impune introducerea unei operații suplimentare de „calibrare" a filetelor după executarea lor pe mașini automate sau semiautomate de mare productivitate, deoarece fără această calibrare fie că nu se poate asigura precizia înaltă impusă, fie că nu se poate evita ruperea tarozilor la filetarea dintr-o singură trecere.

Factorii care reduc capacitatea de lucru a tarozilor în general sînt: știrbirea muchiilor așchietoare pe conul de atac, ruperea (mai ales a tarozilor cu

Scanned with OKEN Scanner

diametrul pînă la 18 mm), nerealizarea dimensiunilor şi a condiţiilor tehnice impuse filetului executat pe piesa prelucrată.

Dacă în producţia individuală şi de serie mică sau chiar şi în producţia de serie mare şi de masă la lucrul pe maşini monopoziţionale (maşină de burghiat şi filetat cu un ax) se poate uşor observa reducerea capacităţii de lucru a tarozilor şi se pot lua măsurile corespunzătoare pentru a se asigura desfăşurarea normală a procesului tehnologic pe linia tehnologică respectivă (în cazul producţiei de serie mare şi de masă), la lucrul pe maşini-unelte agregat semiautomate sau automate, acest lucru în majoritatea cazurilor nu este posibil.

De asemenea, executarea filetelor precise pe utilaje obişnuite se face de obicei cu un complet de tarozi şi în plus, în foarte multe cazuri, ultima trecere (cu tarodul nr. 3) se execută manual. Acest mod de lucru nu este posibil de aplicat pe utilajele automatizate.

În cazul efectuării operaţiei de tarodare pe maşini monopoziţionale întreruperea lucrului din cauza capacităţii necorespunzătoare de aşchiere a tarozilor este uneori destul de mare. La lucrul pe maşini agregat sau pe linii tehnologice automate aceste întreruperi cresc multiplu, deoarece deteriorarea unei scule, în cazul de faţă a unui tarod, duce la întreruperea lucrului întregului agregat sau a întregii linii tehnologice automate.

Analiza cauzelor care reduc capacitatea de lucru a tarozilor

1. **Ştirbirea muchiilor aşchietoare de pe conul de atac al tarozilor.** Pentru a se descoperi cauza sau cauzele care conduc la acest fenomen, se analizează etapele de executare a filetului prin tarodare într-un alezaj înfundat (ştirbirea muchiilor aşchietoare de pe conul de atac se observă în special la tarozii cu care se execută filetul în alezajele înfundate): 1 — angajarea conului de atac; 2 — aşchierea filetului pe lungimea indicată şi calibrarea cu spirele de calibrare a tarodului; *3* — oprirea; *4* — deşurubarea tarodului.

Alezajul fiind înfundat, conul de atac nu poate depăşi suprafaţa filetată pentru a permite calibrarea filetului pe întreaga lungime, aşa cum se întîmplă în cazul alezajelor străpunse. Din această cauză aşchiile formate de muchiile aşchietoare ale conului de atac (fig. 8.4.14, *a*), însă nedesprinse de pe suprafaţa alezajului (fig. 8.4.14, *b*), la deşurubarea tarodului sînt strivite de fiecare dinte cu faţa lui de aşezare (fig. 8.4.14, *c*). Datorită acestui lucru pe faţa de aşezare a dinţilor respectivi apare o forţă de apăsare F_s egală cu forţa necesară strivirii, respectiv tasării aşchiilor. Atunci cînd forţa de stri-

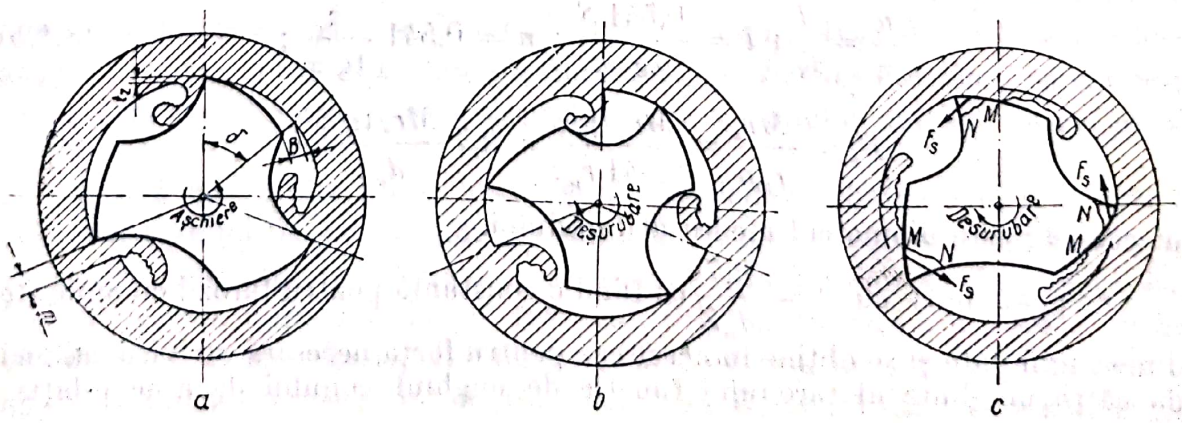


Fig. 8.4.14. Schema pentru analiza cauzelor care conduc la ruperea dinţilor tarozilor.

vire F_s atinge o valoare corespunzătoare, rupe vîrful dintelui pe linia MN (figura 8.4.14, *c*). Pe măsură ce dinţii tarodului se uzează, contracţia aşchiilor devine tot mai mare, grosimea lor se măreşte şi în plus ele se şi durifică. Aşchiile în această stare sînt cuprinse tot mai greu în spaţiul dintre spatele detalonat al dinţilor şi suprafaţa alezajului şi avînd în plus şi o rezistenţă mărită, strivirea lor reclamă forţe de apăsare F_s mai mari decît rezistenţa la încovoiere a vîrfului dinţilor şi acesta se rupe.

Odată stabilită cauza ştirbirii muchiilor aşchietoare ale tarozilor, se pot găsi factorii de bază care influenţează asupra ştirbirii şi deci mijloacele pentru înlăturarea acestui fenomen.

Se înţelege, că probabilitatea ştirbirii dinţilor este cu atît mai mică cu cît este mai mică forţa F_s şi cu cît este mai mare rezistenţa la rupere a muchiei aşchietoare a dinţilor tarozilor pe conul lor de atac.

Deci, rezistenţa la ştirbire a dinţilor tarozilor este funcţie de următorii factori: rezistenţa materialului din care sînt confecţionaţi tarozii; mărimea unghiurilor de aşezare şi degajare a dinţilor de pe conul de atac (de altfel de valoarea acestor unghiuri depinde însăşi rezistenţa la încovoiere a muchiilor dinţilor); materialul piesei care se prelucrează, grosimea stratului îndepărtat de pe suprafaţa piesei, starea de uzură a muchiilor aşchietoare, mărimea spaţiului dintre spatele detalonat al dinţilor şi suprafaţa alezajului. Unii dintre factorii enumeraţi sînt condiţionaţi anticipat şi rămîn aproape neschimbaţi (rezistenţa materialului din care este confecţionat tarodul, materialul piesei şi alţii), iar asupra altora se poate acţiona foarte uşor, ca de exemplu asupra unghiurilor α şi γ, asupra grosimii aşchiei. Mărimea spaţiului dintre spatele dintelui şi suprafaţa alezajului a fost introdusă printre aceşti factori deoarece ea este aceea de care depinde dacă aşchia „nedesprinsă" de pe suprafaţa alezajului este prinsă sub dinte sau nu.

Factorii asupra cărora se poate acţiona cel mai uşor sînt: — micşorarea grosimii t_z a stratului de metal îndepărtat de un dinte (fig. 8.4.14, *a*) şi mărimea B a spaţiului dintre spatele dintelui şi suprafaţa alezajului (fig. 8.4.14, *a*).

În cele ce urmează se arată cum variază forţa F_s în funcţie de micşorarea grosimii stratului de metal t_z îndepărtat de un dinte de pe suprafaţa alezajului. Pentru micşorarea grosimii acestui strat este necesar să se micşoreze unghiul conului de atac φ.

Dacă se notează cu: z — numărul nervurilor; n — numărul dinţilor de pe conul de atac; l — lungimea conului de atac; S — pasul filetului; M_{rs} — momentul de rotire necesar pentru strivirea aşchiilor; r_m — raza medie a tarodului, se pot scrie următoarele relaţii:

$$\frac{n}{z} = \frac{l}{s};\ l = \frac{0{,}541\,S}{\operatorname{tg}\varphi};\ n = 0{,}541\,\frac{z}{\operatorname{tg}\varphi}; \tag{8.4.5}$$

$$F_s = \frac{Mr_s}{r_m n} = \frac{Mr_s \operatorname{tg}\varphi}{0{,}541\,r_m z} = 3{,}7\,\frac{Mr_s \operatorname{tg}\varphi}{d_m z},$$

în care d_m este diametrul mediu al tarodului.

Se poate nota cu $A = \dfrac{3{,}7}{d_m Z}$ ca fiind o constantă pentru tarozii cu anumite dimensiuni date şi se obţine în acest caz pentru forţa necesară strivirii aşchiei de către un dinte al tarodului funcţie de unghiul conului de atac relaţia:

$$F_s = A\,M_{rs}\ \operatorname{tg}\varphi. \tag{8.4.6}$$

Scanned with OKEN Scanner

În diagrama din figura 8.4.15 sînt reprezentate valorile determinate experimental ale momentului de rotire a tarodului şi a forţei de strivire ale aşchiilor în funcţie de variaţia unghiului conului de atac φ la filetarea cu un tarod M 12.

Din diagramă se vede că momentul de rotire M_{rs} a tarodului se micşorează cu creşterea unghiului φ, pe cîtă vreme forţa F_{rs} creşte.

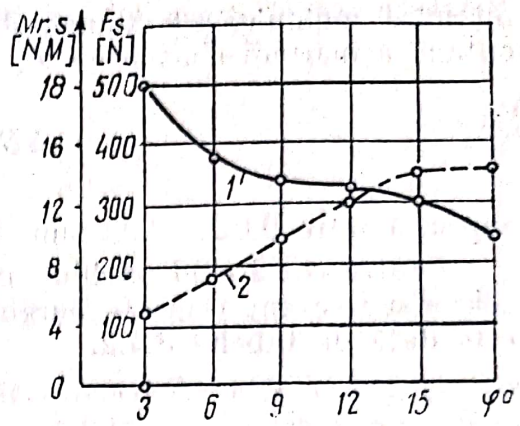


Fig. 8.4.15. Variaţia momentului de rotire al tarodului funcţie de unghiul de atac φ la filetarea cu un tarod M12.

Cu toate că momentul de rotire M_{rs} a tarodului creşte cu micşorarea unghiului φ (sau cu mărirea lungimii l a conului de atac), valoarea forţei de strivire F_s se micşorează, ceea ce duce la reducerea pericolului de ştirbire a muchiilor aşchietoare a tarozilor pe conul de atac. Rezultă deci concluzia, că tarozii care au fie unghiul conului de atac mic, fie lungimea acestuia din urmă cît mai mare, sînt mai puţin predispuşi la ştirbirea muchiilor în timpul deşurubării din alezajul filetat.

Pe de altă parte însă, la filetarea alezajelor înfundate lungimea conului de atac a tarozilor este limitată de adîncimea alezajului şi de lungimea suprafeţei care trebuie filetată. Din această cauză, pentru a se evita ştirbirea muchiilor dinţilor de pe conul de atac, trebuie să se prevadă posibilitatea executării alezajelor înfundate cu adîncimi cît mai mari posibil şi micşorarea lungimii suprafeţei care trebuie filetată, pentru a fi posibilă utilizarea tarozilor cu lungimea conului de atac cît mai mare, respectiv cu unghiul acestuia cît mai mic.

Unul din mijloacele cele mai eficace de evitare a intrării aşchiei nedesprinsă de pe suprafaţa alezajului sub dintele tarodului la deşurubarea acestuia, după ce filetul a fost executat, constă în micşorarea spaţiului dintre spatele detalonat al dintelui şi suprafaţa alezajului, indiferent de lungimea l a conului de atac sau de mărimea unghiului φ. Cu cît acest spaţiu este mai mic, cu atît mai mic este pericolul de prindere a aşchiei sub dintele tarodului în timpul deşurubării. Calităţile aşchietoare ale tarozilor pentru filetarea alezajelor înfundate depind de mărimea unghiului de aşezare α, precum şi de mărimea spaţiului dintre spatele detalonat al dintelui şi suprafaţa de prelucrat a alezajului, spaţiu notat, aşa cum s-a mai spus, cu B. Rezultă deci, că nu este deloc indiferentă forma curbei de detalonare a spatelui dinţilor de pe conul de atac.

Există mai multe forme a curbei de detalonare, dintre care în practică cele mai răspîndite (şase la număr) sînt cele în arc de cerc cu centrul dispus în centrul secţiunii transversale a corpului tarodului sau în diverse poziţii faţă de acesta, după spirala lui *Arhimede*, după o dreaptă sau după o curbă obţinută pe maşina *Leeve*. Indiferent însă de forma curbei de detalonare a spatelui dinţilor de pe conul de atac, mărimea B statică (B_{st}) este mai mare decît cea cinematică (B_{cin}). Diferenţa între cele două mărimi notată cu ΔB este totdeauna pozitivă şi este funcţie de mărimea pasului filetului P, de

Scanned with OKEN Scanner

mărimea unghiului φ şi a unghiului la centru δ (fig. 8.4.14, *a*), adică valoarea optimă a mărimii cinematice B_{ctn} este:

$$\Delta B = \frac{P \operatorname{tg} \varphi\delta}{360^\circ}, \qquad (8.4.7)$$

cuprinsă între 0,02 ... 0,03 mm. Deci, mărimea statică $B_{st} = \Delta B + 0{,}02$.

Pentru cazul cînd unghiul conului de atac $\varphi = 18^\circ$ mărimea B_{st} pentru cele mai frecvent utilizate burghie de filet, calculată cu relaţia de mai sus este dată de tabelul 8.4.2.

Tabelul 8.4.2

Mărimea B_{st} pentru cele mai frecvent utilizate burghie de filet

Tarod	δ*	B_{st}, în mm	Tarod	δ*	B_{st}, în mm
M6 × 1	30	0,042	M6 × 0,75	30	0,033
M8 × 1,25	30	0,049	M8 × 1,0	30	0,042
M10 × 1,5	30	0,055	M10 × 1,0	30	0,042
M12 × 1,75	30	0,062	M12 × 1,25	30	0,049
M14 × 2,0	25	0,57	M14 × 1,5	25	0,046
M16 × 2,0	25	0,69	M16 × 1,5	25	0,046
M18 × 2,5	25	0,069	M18 × 1,5	25	0,046
M20 × 2,5	25	0,069	M20 × 1,5	25	0,046
M27 × 3	25	0,080	M27 × 2	25	0,057
M30 × 3,5	20	0,073	M30 × 2	20	0,046

2. **Cauzele care provoacă ruperea tarozilor.** Atît date din literatura de specialitate cît şi date statistice din producţie arată că între 50—70% din tarozii utilizaţi sînt scoşi din exploatare datorită ruperii. Cel mai mare procent din tarozii rupţi sînt cei cuprinşi între M6 ... M14.

Momentul de torsiune la filetarea automată M_{tf} se poate calcula cu relaţia:

$$M_{tf} = C_m d^{1,4} p^{1,5}, \qquad (8.4.8)$$

în care: C_m este coeficient constant pentru condiţiile date; d — diametrul tarodului; P — pasul filetului.

Pentru un ax cilindric cu canale longitudinale (similare celor a tarozilor) tensiunea tangenţială maximă apare în canale şi se poate determina din relaţia cunoscută:

$$\tau_{max} = k \frac{M_t}{r_{int}^3}, \qquad (8.4.9)$$

în care: k este coeficient de concentrare a tensiunilor în canale; r_{int} — raza interioară a tarodului.

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece tensiunea tangențială maximă nu trebuie să depășească tensiunea admisibilă rezultă condiția:

$$k \frac{M_t}{r_{int}^3} \leqslant \tau_{adm}, \tag{8.4.10}$$

de unde momentul de torsiune admisibil este:

$$M_{tadm} = \frac{\tau_{adm} r_{int}}{k} = k_t d_{int}^3 \tag{8.4.11}$$

Dacă se admite că la toți tarozii numărul nervurilor este același și deci k și k_1 de asemenea sînt egali la toți tarozii, atunci se poate afirma că raportul $M_{tadm} = A$ va caracteriza gradul de tensiune al tarodului în timpul filetării, A fiind coeficientul de tensiune respectiv.

Dacă se înlocuiesc în relația lui A valorile momentelor respective se obține:

$$A = \frac{C_m d^{1,4} p^{1,5}}{k_1 d_{int}}. \tag{8.4.12}$$

Deoarece s-a admis că, constantele C_m și k_1 pentru toți tarozii sînt egale și notînd $\frac{C_m}{k_1} = \eta$, relația (8.4.12) devine:

$$A = \eta \frac{p^{1,5} d^{1,4}}{d_{int}^3}. \tag{8.4.13}$$

Coeficientul de concentrare a tensiunilor este diferit la tarozii care au trei, respectiv patru nervuri. Astfel, la tarozii cu patru nervuri coeficientul de concentrare a tensiunilor este egal cu 90% din al tarozilor cu trei nervuri, relația de calcul fiind:

$$A = 0{,}9\eta \frac{p^{1,5} d^{1,4}}{d_{int}^3}. \tag{8.4.14}$$

După relațiile (8.4.13) și (8.4.14) a fost calculat coeficientul de tensiune convențional $\frac{A}{\eta}$ care apare în timpul filetării cu tarozi standardizați M6 ...M30. Valorile respective sînt prezentate în tabelul 8.4.3.

Tabelul 8.4.3

Valorile coeficientului convențional de tensiune pentru tarozii standardizați

Tarod	Coeficientul convențional de tensiune	Tarod	Coeficientul convențional de tensiune
M6 × 1,0	0,113	M18 × 2,5	0,061
M8 × 1,25	0,096	M20 × 2,5	0,049
M10 × 1,5	0,085	M22 × 2,5	0,040
M12 × 1,75	0,079	M24 × 3,0	0,048
M14 × 2	0,075	M27 × 3,0	0,037
M16 × 2	0,049	M30 × 3,5	0,041

Scanned with OKEN Scanner

După cum se vede din tabelul 8.4.3 valorile cele mai mari ale coeficientului de tensiune le au tarozii mai mici, ceea ce şi explică de altfel că ei au procentul cel mai mare de rupere.

Coeficientul de siguranţă al tarozilor. Momentul de torsiune la filetarea interioară în piese confecţionate din OL 40 şi OL 45 cu tarozi de maşină este dat de relaţia:

$$M_{tf} = 27d^{1,4}p^{1,5}, \text{ Nm.} \qquad (8.4.15)$$

Rezistenţa maximă admisibilă la torsiune a oţelului rapid este

$$\sigma_{max\,t} = 172 \cdot 10^{-2} \text{ MPa.}$$

Dacă se introduce această valoare în relaţia (8.4.11) se poate obţine mărimea momentului de torsiune pentru ruperea tarodului:

$$M_{tr} = \frac{\sigma_{max\,t} r_{int}^3}{k} = 1,72 \frac{r_{int}^3}{k}, \text{ Nm.} \qquad (8.4.16)$$

Cunoscînd coeficientul de conducere a tensiunilor k se obţine:

— pentru tarodul cu două nervuri (sau canale):

$$M_{tr} = \frac{1,72\, d_{int}^3}{8 \cdot 2,86} = 0,075\, d_{int}^3, \text{ Nm,} \qquad (8.4.17)$$

în care: d_{int} este diametrul interior al filetului tarodului, în mm;

— pentru tarodul cu trei nervuri:

$$M_{tr} = \frac{1,72 \cdot d_{int}^3}{8 \cdot 2,54} = 0,079\ d_{int}^3, \text{ Nm;} \qquad (8.4.18)$$

— pentru tarodul cu patru nervuri:

$$M_{tr} = \frac{1,72\, d_{int}^3}{8 \cdot 2,21} = 0,085 d_{int}^3, \text{ Nm;} \qquad (8.4.19)$$

— pentru tarodul cu şase nervuri:

$$M_{tr} = \frac{1,72\, d_{int}^3}{8 \cdot 1,69} = 0,097\, d_{int}^3, \text{ Nm.} \qquad (8.4.20)$$

Coeficientul de siguranţă al tarozilor la filetarea pieselor din OL 40 şi OL 45 este raportul:

$$\frac{M_{tr}}{M_{tf}} = K_0. \qquad (8.4.21)$$

Valorile momentelor de torsiune de rupere M_{tr} şi de filetare M_{tf} şi coeficienţii de siguranţă calculaţi pentru o serie de tipodimensiuni de tarozi sînt date în tabelul 8.4.4.

În lucrările de lăcătuşărie capacitatea aşchietoare a tarozilor creşte deoarece se utilizează complete de cîte trei tarozi (Nr. 1, Nr. 2, Nr. 3). La filetarea pe maşină acest lucru nu este posibil şi de aceea se caută mereu pe diverse căi mărirea rezistenţei tarozilor de maşină şi anume, prin confecţionarea co-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.4.4

Valorile momentului de torsiune la rupere și ale coeficientului de siguranță

Tarod	Nr. nervuri	M_{tf}, în Kfm	M_{tf}, în Nm	M_{tr}, în Kfm	M_{tr}, în Nm	Coeficientul de siguranță	
						tarozi ascuțiți	tarozi uzați
M6	3	0,31	3,04	1,0	9,8	3,2	1,0
M8		0,64	6,27	2,45	24,0	3,8	1,1
M10		1,17	11,5	4,95	48,4	4,2	1,4
M12		1,90	18,6	8,57	85,0	4,5	1,5
M14		2,88	28,2	13,8	135,5	4,8	1,6
M16	4	3,47	34,0	25,4	250	7,3	2,4
M18		5,73	56,3	35,9	352	6,3	3,1
M20		6,60	64,6	50,0	489	7,6	2,5
M22		7,57	74,2	69,5	686	9,2	3,1
M24		11,30	111,0	85,8	842	7,6	2,5
M27	6	13,3	130	169	1660	12,7	4,2
M30		19,4	190	228	2240	11,8	3,9

nică a inimii tarodului, mărirea diametrului cozii, însă toate măsurile constructive duc la o mărire aproape neglijabilă a rezistenței.

În general rezistența tarozilor calculată oscilează uneori între limite foarte mari față de cea reală, din cauza fie a calității variabile a oțelului rapid, fie din cauza tratamentului termic neuniform.

Fiind cunoscut momentul de torsiune de rupere a tarozilor (prezentat în tabelul 8.4.4) a devenit posibilă și utilă adaptarea la mașinile de filetat a unui mecanism de măsurare a acestui moment și de decuplare a arborelui portscule, cînd momentul de torsiune se apropie de limita de rupere, evitînd în felul acesta ruperea tarodului.

8.4.2.5. Rectificarea suprafețelor interioare ale bucșelor

● *Cazurile de utilizare a rectificării interioare și conținutul operației de rectificare.* Referitor la procesul însuși de rectificare observăm următoarele: la rectificarea interioară deosebim aceleași trei feluri de avans, pe care le-am întîlnit la rectificarea exterioară.

Rectificarea interioară are o aplicare mai restrînsă decît rectificarea exterioară. Explicația constă în faptul că este mult mai costisitoare, după cum rezultă din cele ce urmează.

La rectificarea exterioară diametrul discului de rectificat nu este legat de diametrul piesei, așa cum se întîmplă la rectificarea interioară. Diametrul mic al pietrei atrage după sine o uzură mai pronunțată a sa. Dacă admitem în primă aproximație, că adaosul de prelucrare pentru o rectificare exterioară este la fel ca pentru o rectificare interioară, atunci trebuie să admitem că la prelucrarea suprafețelor exterioare și interioare la diametrul și lungimea dată, cantitatea de metal îndepărtată este aceeași. Admițînd de asemenea în primă aproximație că pierderea de material din pietrele de rectificat este proporțională cu cantitatea de metal îndepărtată, ajungem la concluzia că această pierdere de material din pietrele de rectificat de asemenea este aceeași în valoare absolută. Raportînd însă aceeași pierdere la greutatea pietrelor (pentru rectificare exterioară și pentru rectificare interioară) observăm că în timp ce greutatea primului disc se micșorează aproape neglijabil, greutatea și deci și diametrul

Scanned with OKEN Scanner

discului mic (pentru rectificare interioară) se micşorează foarte brusc. Astfel de exemplu la rectificarea exterioară a unui segment de lungime l pe un arbore cu un disc de rectificat cu $\varnothing = 500$ mm şi lăţimea 80 mm, diametrul lui s-a micşorat cu 0,01 mm. La rectificarea interioară a aceluiaşi diametru şi lungime cu o piatră de rectificat pentru interior cu $\varnothing$ 20 mm şi lăţimea de 20 mm, diametrul pietrei se micşorează cu o mărime de $\frac{80 \cdot 500}{20 \cdot 20} = 100$ ori mai mare, adică $100 \cdot 0{,}01 = 1$ mm.

Este uşor de văzut că o uzură atît de rapidă a pietrei de rectificat îngreuiază obţinerea unei precizii de prelucrare ridicată. De asemenea, prin înlocuirea foarte frecventă a pietrelor se micşorează productivitatea. În afară de aceasta, costul unui kg de pietre de rectificat cu diametru mic este mai ridicat decît costul unui kg de discuri cu diametru mare.

Uzura atît de pronunţată şi de rapidă a pietrelor mici în diametru atrage după sine încă o consecinţă negativă şi anume: necesitatea ascuţirii sau îndreptării ei mult mai des. De aceea, la rectificarea interioară împărţirea rectificării în degroşare şi finisare este mult mai importantă decît la rectificarea exterioară. În foarte multe cazuri ascuţirea pietrei este necesară înaintea rectificării de finisare a fiecărui alezaj, după rectificarea de degroşare.

Toate cele expuse mai sus explică într-o măsură oarecare grija cu care în atelierele mecanice se recurge la utilizarea procedeului de rectificare interioară. Nu sînt însă rare cazurile cînd rectificarea interioară este de neînlocuit. Enumerăm cîteva din aceste cazuri.

Rectificarea pieselor confecţionate din oţeluri călite sau din materiale foarte dure. Acesta dealtfel este domeniul principal de aplicare a rectificării interioare. Se poate spune că materialele cu o duritate mai mare de 30 HRC aproape totdeauna se prelucrează prin rectificare.

Rectificarea pieselor din materiale mai moi de obicei se face numai atunci cînd prelucrarea lor nu se poate face cu procedee mult mai ieftine decît rectificarea (alezarea, broşarea, strunjirea fină). Enumerăm cîteva din cazurile în care rectificarea interioară a pieselor din materiale moi nu poate fi înlocuită cu un alt procedeu de prelucrare mai ieftin:

— *prelucrarea pieselor turnate cu o duritate neuniformă* se face prin rectificare. Piatra de rectificat lucrează în astfel de situaţii mult mai bine decît alte scule;

— *prelucrarea pieselor cu alezaje care din punct de vedere constructiv sînt incomode pentru alezare* şi anume: piesele cu alezaje foarte scurte, cu alezaje înfundate, cu canale sau cu pereţii foarte subţiri;

— *prelucrarea alezajelor cu diametre cu toleranţe cuprinse în clasa a 2-a de precizie sau mai precise, care nu se pot realiza prin alezare.* Rectificarea interioară asigură obţinerea unei precizii cuprinsă în clasa 1 sau 0 dacă rectificarea se face cu multă atenţie. La rectificarea alezajelor nu prea mari în diametru şi lungi se poate atinge o precizie de 0,002 mm. Desigur, această precizie nu se poate realiza în condiţiile obţinute de fabricaţie, ci numai în cazuri speciale, la un cost foarte ridicat;

— *prelucrarea pieselor cu alezaje ce au diametre nestandardizate cuprinse în clasa a 2-a de precizie sau mai mult, pentru care nu sînt construite alezoare.*

Prelucrarea pieselor cu diametru mai mare de 150—200 mm, pentru care confecţionarea alezoarelor este iraţională din toate punctele de vedere;

Scanned with OKEN Scanner

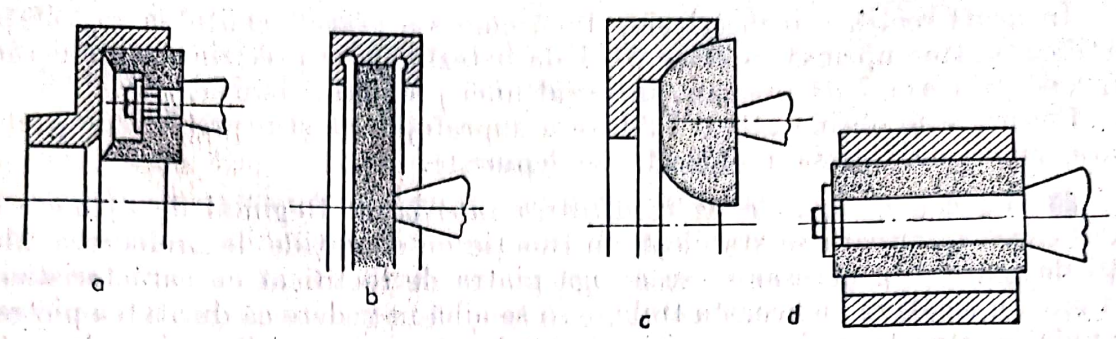


Fig. 8.4.16. Exemple de rectificare a suprafeţelor interioare cu avans transversal.

— *prelucrarea pieselor cu alezaje deplasate faţă de poziţia lor corectă.* Dacă în operaţia precedentă alezării axa alezajului a ieşit deplasată ca o mărime oarecare, prin rectificare se poate readuce în poziţia impusă, lucru ce la prelucrarea cu alezorul ar fi fost imposibil.

Referitor la procesul de rectificare interioară observăm următoarele: la rectificarea interioară se deosebesc aceleaşi trei feluri de avansuri ca şi la rectificarea exterioară. De aceea, aici se pot aplica aceleaşi metode de lucru care se aplică la rectificarea exterioară, însă din cauza rigidităţii scăzute a sistemului tehnologic *MUPS*, condiţiile de lucru se deosebesc esenţial.

Mai frecvent se aplică metoda de rectificare cu treceri longitudinale şi avans transversal. La prelucrarea alezajelor scurte aplicarea acestei metode permite a se ridica simţitor productivitatea, mai ales dacă ciclul de lucru este automat.

În figura 8.4.16 sînt schiţate cîteva cazuri de aplicare a metodei de rectificare cu avans transversal.

La piesa din figura 8.4.17, *a* se vede că din aceeaşi prindere şi cu aceeaşi piatră se rectifică atît suprafaţa *A* cît şi suprafaţa frontală *B*. Mai întîi se rectifică suprafaţa *A* (fig. 8.4.17), apropiindu-se ($\leftarrow^{1}$) piatra pînă aproape de suprafaţa *B* fără însă a o atinge pe aceasta din urmă. În această poziţie se fixează opritorul limitator de cursă. Se apropie apoi piatra de suprafaţa *A* ($\uparrow 2$) pînă cînd o atinge uşor. După aceea, se dă pietrei sau piesei ce se rectifică un avans longitudinal alternativ ($\leftarrow^{3}\rightarrow$) în timp ce pietrei i se dă şi un avans transversal în trepte, cîte 0,02—0,05 mm după 2—3 curse longitudinale ($\leftarrow^{3}\rightarrow$) alternative. Se repetă acest lucru pînă cînd s-a atins diametrul dorit. Se retrage apoi piatra (după săgeata $\downarrow 4$ cu 1—2 mm), după care se dereglează opritorul limitator de cursă longitudinal şi se apropie piatra de suprafaţa *B* (după săgeata $5\leftarrow$) şi se face astfel rectificarea frontală. După rectificarea suprafeţei *B* piatra se îndepărtează (după săgeata $6\rightarrow$), operaţia de rectificare a piesei fiind terminată.

Dacă se impune a se rectifica şi suprafaţa frontală *C*, acest lucru se poate face simultan cu rectificarea suprafeţei *A* cu o altă piatră oală fixată pe un suport transversal acţionat de obicei manual.

În întreprinderi constructoare de maşini cu producţie de serie mare şi de masă există maşini de rectificat interior cu ciclu automat de lucru, cu sistem de control activ al dimensiunilor.

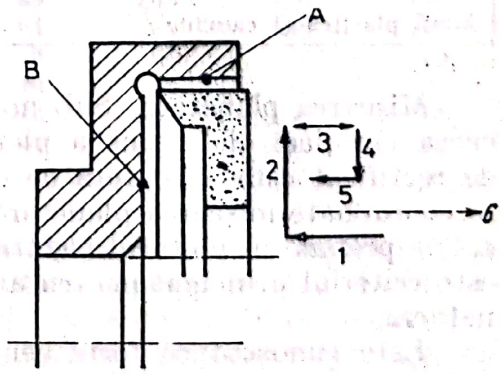


Fig. 8.4.17. Succesiunea prelucrării suprafeţei *A* şi a celei frontale *B*.

În urma rectificării interioare, după cum s-a arătat, calitatea suprafeței rectificate este cuprinsă în clasa 6—7 de netezime, iar precizia de prelucrare cuprinsă în clasa 7 de precizie, în cazul unei prelucrări mai atente.

Pentru a se obține atît o calitate a suprafeței cît și o precizie de prelucrare superioară, piesa rectificată se lepuiește.

● *Regimul de așchiere la rectificarea interioară.* Regimul de așchiere la rectificarea interioară se stabilește în funcție de condițiile de prelucrare. Mai întîi de toate este necesar să se aleagă piatra de rectificat cu caracteristicile optime. În legătură cu aceasta trebuie să se aibă în vedere că duritatea pietrei, granulația, structura și compoziția ei sînt legate reciproc. De obicei, la rectificarea interioară se recomandă pietre cu liant ceramic.

Pietrele de oxid de aluminiu (Al_2O_3) se utilizează pentru prelucrarea pieselor confecționate din oțel necălit, îmbunătățit și călit, slab aliat și oțel inoxidabil, aluminiu și bronzuri dure.

Pietrele din carbură de siliciu (SIC) dau rezultate bune la rectificarea fontei, alamei, bronzului moale, aluminiului, oțelului călit, puternic aliat, carburii metalice, sticlei, masei plastice și cauciucului.

Viteza de așchiere. În concordanță cu cerințele tehnicii protecției muncii, viteza periferică a pietrei de obicei nu este mai mare de 35 m/s. Este de dorit ca pentru mărirea volumului de metal îndepărtat să se facă prelucrarea cu viteze de așchiere apropiate de limita maximă. Mașina de rectificat interior trebuie să aibă posibilitatea variației continue a turației, precum și a variației precise a acesteia. În tabelul 8.4.5 se indică valorile recomandate pentru viteza periferică de rectificat, în m/s.

Tabelul 8.4.5

Valorile vitezei de așchiere funcție de materialul piesei

Materialul din care este confecționată piesa	Viteza, în m/s
Oțel carbon și oțel slab aliat de toate durităţile	25—35
Oțel puternic aliat și călit	15—20
Carburi metalice	12—18
Fontă	20—25
Metale neferoase	20—30
Sticlă	8—12
Masă plastică și cauciuc	15—20

Mișcarea planetară. Sub noțiunea de mișcare planetară se înțelege mișcarea circulară de avans a pietrei de rectificat, care la mașinile obișnuite de rectificat este executată de către piesă. La mașinile de rectificat interior în coordonate mișcarea planetară trebuie să fie executată de capul de rectificat împreună cu motorul electric. În acest caz, apare forța centrifugă, care este criteriul principal pentru alegerea numărului de rotații ale mișcării planetare.

Este cunoscut că forța centrifugă la o masă constantă este proporțională cu pătratul turației și raza (figura 8.4.18). Pentru asigurarea unei precizii ridicate de lucru a mașinii și a unei mișcări liniștite, dezechilibrarea nu trebuie

Scanned with OKEN Scanner

să depășească o anumită mărime; de aceea numărul de rotații ale mișcării planetare trebuie să fie cu atît mai mic, cu cît este mai mare excentricitatea (funcție de mărimea alezajului care se rectifică).

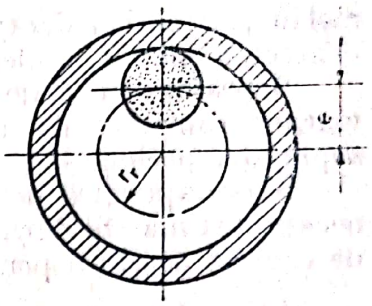


Fig. 8.4.18. Schema rectificării planetare.

În cazul unui avans circular exagerat de mare, cu care piatra de rectificat nu reușește să îndepărteze cantitatea precisă de metal, în mod automat se micșorează adîncimea de așchiere. Dacă acest lucru nu este posibil ca urmare a înfigerii pietrei de rectificat în suprafața care se prelucrează datorită avansului dat, atunci piatra de rectificat se uzează foarte repede sub acțiunea supraîncărcării (suprasolicitării), lucru care duce la înrăutățirea sau defectarea piesei.

Experimental s-au determinat și stabilit valcrile raționale pentru viteza de avans planetară.

Valoarea maximă a vitezei de avans planetar trebuie să fie de 0,015 din viteza periferică a pietrei de rectificat. O dată cu micșorarea vitezei de avans, se reduce cantitatea de metal îndepărtat, însă se îmbunătățește calitatea suprafeței prelucrate prin micșorarea rugozității acesteia. De aici decurge necesitatea ca rectificarea de degroșare și semifinisare să se facă cu viteze de avans planetar mici.

În tabelul 8.4.6 se dau valorile recomandate pentru numărul de rotații ale mișcării planetare în funcție de diametrul găurii care se rectifică și de viteza periferică a pietrei de rectificat.

Tabelul 8.4.6

Valorile numărului de rotații ale mișcării planetare

Diametrul găurii în mm	Viteza periferică a pietrei de rectificat, în m/s						
	5	10	15	20	25	30	35
	Numărul maxim de rotații ale mișcării planetare, în rot/min						
10	160	280	280	280	280	280	280
12	125	240	280	280	280	280	280
16	100	200	280	280	280	280	280
20	80	160	240	280	280	280	280
25	64	125	190	240	260	260	260
32	50	100	150	200	230	240	240
40	40	80	120	160	200	210	220
50	32	64	96	125	160	180	200
65	25	50	76	100	125	150	170
80	20	40	60	80	100	120	140
100	16	32	48	64	80	96	110
125	12	24	36	48	64	76	90
160	10	20	30	40	50	60	70
200	8	16	24	32	40	48	55
250	6	12	18	24	32	36	45

Raportul dintre diametrul găurii și ale pietrei de rectificat. După o regulă veche de producție, diametrul pietrei de rectificat trebuie să fie 3/4 din diametrul găurii care se rectifică. O astfel de regulă nu este justă în toate cazurile. Cu variația diametrului pietrei de rectificat, variază lungimea suprafeței de contact a acesteia cu a alezajului care se prelucrează. Dacă raportul dintre dia-

Scanned with OKEN Scanner

metrul pietrei și al alezajului este constant, înseamnă că mărimea suprafeței de contact a pietrei și alezajului este de asemenea constantă.

Suprafața mică de contact duce la mărirea presiunii de contact și la mărirea cantității de metal îndepărtat și totodată la înrăutățirea calității suprafeței prelucrate.

Suprafața mică de contact, datorită presiunii mari de contact, impune necesitatea măririi durității pietrei de rectificat. În cazul unei suprafețe mari de contact aceste dependențe sînt inverse.

Avansul longitudinal. Mișcarea longitudinală și planetară luate împreună determină traiectoria drumului pe care-l face discul de rectificat pe suprafața alezajului care se prelucrează și în același timp determină modul în care decurge procesul de rectificare. În primul rînd trebuie determinată lungimea cursei de lucru, de care depinde de asemenea și numărul de curse duble. În acest caz trebuie să se țină seama de următoarele:

— la prelucrarea alezajului străpunse lungimea cursei de lucru este egală aproximativ cu lungimea alezajului. Aceasta înseamnă că discul de rectificat la capetele curselor trece de marginile alezajului cu jumătate din lățimea sa;

— dacă piatra de rectificat ar depăși marginile alezajului cu o mărime mai mare, ar apărea pericolul ca diametrul alezajului la marginile ei să crească;

— alezajul la capete poate să se mărească de asemenea, dacă rigiditatea broșei este scăzută sau dacă rectificarea se face cu o piatră uzată.

În cazul cînd marginile pietrei de rectificat depășesc marginile alezajului cu o mărime foarte mică este posibilă apariția unor fenomene de ordin contradictoriu. De aceea, la rectificarea de degroșare există pericolul ca piatra de rectificat în pozițiile extreme, în punctele de schimbare a sensului de mișcare, să fie supraîncărcată. Pornind de la cele arătate mai sus, este necesar ca viteza curbelor mișcării componente ale avansului să se aleagă, avînd în vedere una din următoarele recomandații:

— avansurile mari trebuie să se folosească la rectificarea de degroșare, iar la cea de finisare, să se folosească avansuri mici;

— viteza mișcării de dus-întors trebuie să fie în așa fel legată de numărul de rotații al mișcării planetare, încît avansul la o rotație să fie: la rectificarea de degroșare cu ceva mai mic decît jumătate din lățimea pietrei de rectificat; la rectificarea de finisare cu ceva mai mic decît lățimea pietrei de rectificat;

— dacă trebuie să obținem o calitate a suprafeței foarte ridicată, atunci trebuie să se facă rectificarea cu o viteză mică de avans rectiliniu alternativ în ultima fază a procesului de rectificare;

— numărul curselor duble și numărul de rotații ale mișcării planetare nu trebuie să formeze un raport de transmisie sub formă de număr întreg, cu alte cuvinte punctul de schimbare a sensului de mișcare trebuie tot timpul să se mute, să se deplaseze pe circumferința alezajului care se prelucrează.

Duritatea discului de rectificat este cea mai importantă caracteristică a lui. Întrucît ea poate varia în limite foarte largi este necesar a se acorda o atenție mare alegerii pietrei de rectificat după duritate. Mai jos se expun dependențele de bază dintre gradațiile durității și alți factori hotărîtori și anume:

— la o duritate dată a pietrei de rectificat în stare statică, duritatea pietrei este cu atît mai mare cu cît viteza periferică a ei este mai mare. Dacă piatra de rectificat are o duritate excesiv de mare, atunci ea poate fi micșorată prin micșorarea numărului ei de rotații pe minut;

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.4.1

Indicații pentru alegerea pietrelor de rectificat pentru diverse materiale ale piesei

Materialul din care este confecționată piesa	Diametrul pietrei de rectificat, mm	Materialul abraziv	Duritatea pietrei
Oțel de construcții necălit cu 0,15 ... 1% C și cu urme slabe de Cr; Mn; Mo; Ni; V; Al.	15 25 40	Al_2O_3 Al_2O_3 Al_2O_3	CM2 CM1 M3
— Oțel de construcții călit, cu 0,15 ... 1% C și cu urme slabe de Cu; Mn; Mo; Ni; V; Al.	15 25 40	Al_2O_3 Al_2O_3 Al_2O_3	C1 CM2 CM1
— Oțel de scule, călit, cu 0,5 ... 1% slab aliat cu Cr; Mn; V.	25 40	Al_2O_3 Al_2O_3	CM2 CM1
— Oțel rapid, oțel înalt aliat de scule, călit cu: C 2%; Cr 12%; C 1,5%; Cr 0,3%; W 3%; C 1%; Cr 0,3%; Mo 3%; V 3%; W 3%; C 1%; Cr 12%; V 4%; C 1,5%; Cu 5%; V 5%; W 12%; C 1%; Cr 5%; V 2%; W 18%.	20 20 20 20	SiC SiC SiC	M3; CM1 M3; CM1 M2; M3 M2
— Fontă cu duritatea pînă la HB 250 HB 250		SiC SiC	M3; CM1 M2; M3
— Aluminiu și aliaje de Al		Al_2O_3 sau SiC	M3; CM1
— Bronz dur		Al_2O_3	M3, CM1
— Bronz moale		SiC	CM1, CM2
— Alamă		SiC	CM2; C1
— Carburi metalice	20	SiC	M3; CM1
— Piese cromate dur		Al_2O_3	CM1; CM2

— este necesar a se alege piatra de rectificat cu duritatea cu atît mai mare, cu cît diametrul ei este mai mic, întrucît în acest caz se schimbă suprafața de contact.

Indicațiile generale pentru alegerea pietrelor de rectificat în funcție de condițiile de lucru sînt date în tabelul 8.4.7.

8.4.2.6. **Honuirea suprafețelor interioare ale bucșelor.** Honuirea este un procedeu de prelucrare fină a suprafețelor interioare (și chiar exterioare), după prelucrarea prealabilă a suprafețelor respective, prin burghiere, alezare sau rectificare.

Honuirea se execută cu ajutorul a 4—8 bare abrazive fixate într-un dispozitiv denumit „cap de honuit", care are posibilitatea deplasării radiale a barelor creînd o anumită presiune asupra suprafeței care se prelucrează, de 10—50 N/cm² la honuirea pieselor de fontă și de oțel și de 5—15 N/cm² la honuirea pieselor din alamă și aluminiu. Procesul de așchiere se execută în prezența unui lichid de răcire-ungere format din 80—90% petrol și 10—20% ulei de turbină.

Prin honuire se pot prelucra suprafețe interioare cu diametrul cuprins între 2,5—500 mm și lungimea pînă la 10 000 mm și chiar mai mult. În figurile 8.4.19 și 8.4.20 sînt reprezentate două mașini moderne de honuit, una cu lungimea maximă a cursei capului de honuit de 1 000 mm (fig. 8.4.19), respectiv de 5 200 mm (fig. 8.4.20).

Scanned with OKEN Scanner

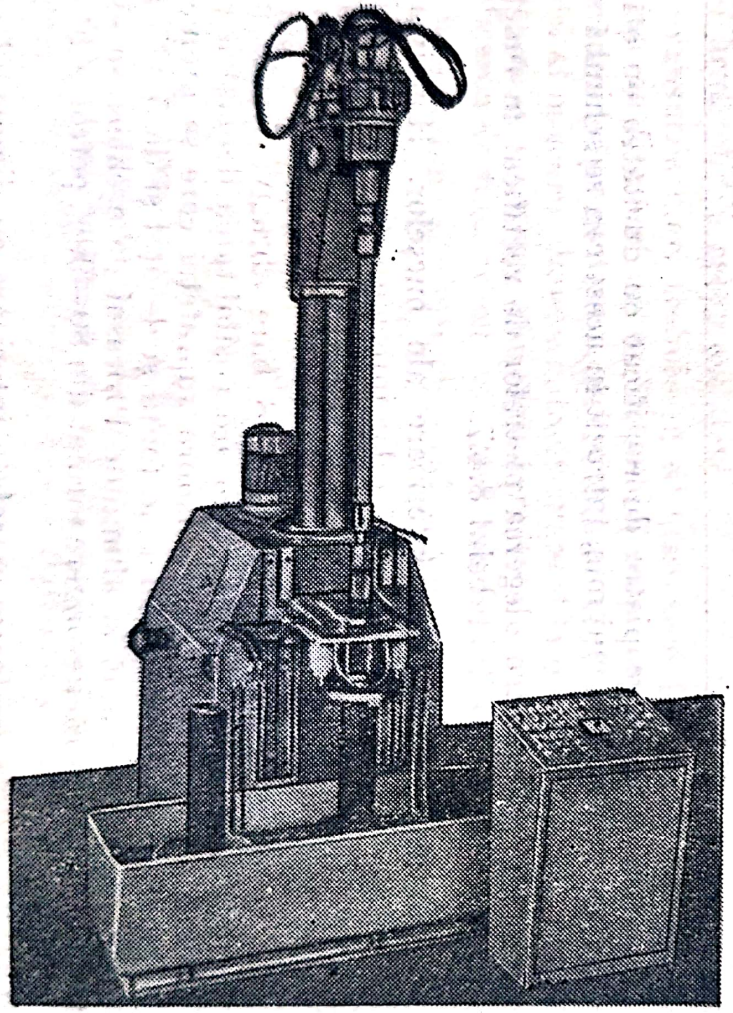


Fig. 8.4.19. Mașină de honuit.

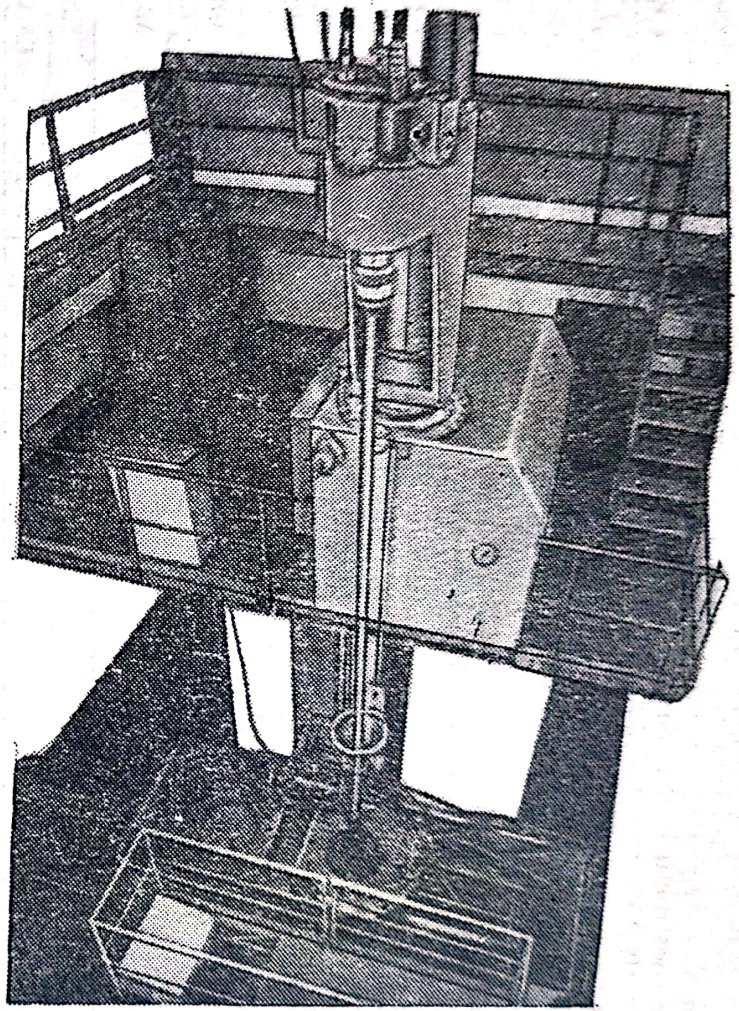


Fig. 8.4.20. Mașină de honuit

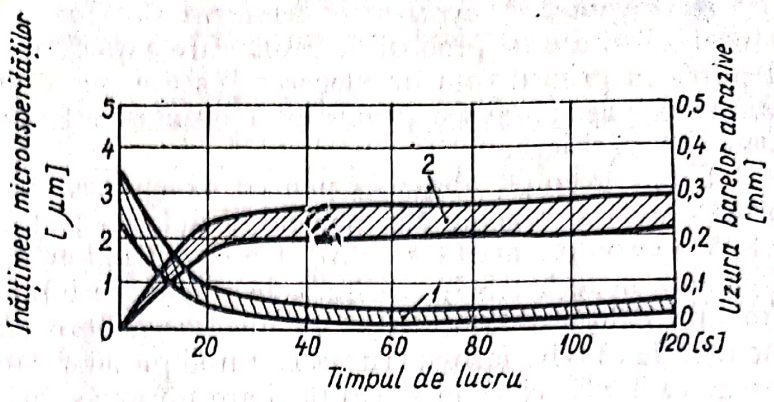


Fig. 8.4.21. Variația înălțimii microasperităților suprafeței honuite (*1*) și a uzurii barelor abrazive (*2*).

Adaosul de prelucrare care se poate îndepărta prin honuire este de 0,02—0,04 mm pe diametru, iar la piesele care în prealabil au fost rectificate poate fi de numai 0,01 mm.

Conicitatea și ovalitatea alezajului în urma operației precedente honuirii nu trebuie să fie mai mare decît adaosul de prelucrare prevăzut pentru honuire. După honuire valoarea acestora poate fi cuprinsă în limitele a 0,005—0,02 mm, respectiv 0,005 mm. Rugozitatea suprafeței honuite este de $R_a = 0{,}4—0{,}025$ μm.

În diagrama din figura 8.4.21 este reprezentată variația înălțimii microasperităților suprafeței honuite o dată cu variația uzurii barelor abrazive în timpul procesului de așchiere prin honuire.

După cum se observă, înălțimea microasperităților la începutul procesului de așchiere scade foarte brusc, iar după un timp oarecare atinge o valoare care nu mai poate fi micșorată oricît s-ar prelungi timpul de lucru (dacă nu se mărește presiunea barelor asupra suprafeței care se prelucrează), fenomen similar celui întîlnit la superfinisare.

Procesul de honuire se realizează prin mișcarea de rotație a capului de honuit în jurul axei sale și mișcarea de avans rectiliniu alternativ al capului de honuit în lungul suprafeței care se prelucrează.

Viteza reală de așchiere este rezultanta compunerii vitezei periferice a capului de honuit v_{ph} și a vitezei rectilinii alternative a acestuia v_{ralt}, adică:

$$v_r = \sqrt{v_{ph}^2 + v_{ralt}^2}, \tag{8.4.22}$$

în care

$$v_{ph} = \frac{\pi D n}{1\,000}; \qquad v_{ralt} = \frac{2 S n_{ralt}}{1\,000}, \tag{8.4.23}$$

unde D este diametrul alezajului care se honuiește, în mm; n — numărul de rotații pe minut ale capului de honuit în jurul axei sale, în rot/min; n_{ralt} — — numărul de curse duble ale capului de honuit într-un minut:

$$S = 2(L + 2K - l), \tag{8.4.24}$$

unde L reprezintă lungimea suprafeței care se honuiește, în mm; l — lungimea barei abrazive, în mm; K — mărimea de trecere a barelor abrazive peste marginile piesei, în mm ($K = 8 - 20$ mm).

Scanned with OKEN Scanner

● *Regimul de aşchiere la honuirea interioară.* Obţinerea unei calităţi a suprafeţei şi a unei precizii de prelucrare superioare la prelucrarea prin honuire depinde în primul rînd de alegerea justă a regimului de aşchiere şi a barelor abrazive, precum şi de asigurarea eliminării cît mai complete a aşchiilor din zona de aşchiere.

Drept granule abrazive pentru executarea barelor abrazive se folosesc următoarele abrazive: NK (corindon natural); HK (corindon semiartificial); EKW (corindon artificial alb); EKH (corindon artificial roz); SG (carbură de siliciu neagră); SGg (carbură de siliciu verde). Pentru prelucrarea pieselor din oţel călit este necesar să se folosească bare abrazive EKW, pentru oţel moale NK şi HK, iar pentru prelucrarea pieselor care au o rezistenţă la rupere mică, ca fontă cenuşie şi călită, bare abrazive SG şi SGg.

Alegerea durităţii barelor abrazive de obicei se face după regula cunoscută: cu cît materialul din care este confecţionată piesa este mai dur, cu atît mai moale trebuie să fie bara abrazivă.

Pentru barele abrazive se utilizează două feluri de lianţi: ceramici şi de bachelită. Barele cu lianţi de bachelită se folosesc atunci cînd prelucrarea are loc cu lovituri, întrucît liantul de bachelită dă barei abrazive o elasticitate mai mare. Barele abrazive cu liant ceramic au o structură mult mai poroasă şi se utilizează pentru prelucrări cu regimuri de aşchiere mult mai ridicate decît cu barele cu lianţi de bachelită, însă datorită fragilităţii lor nu rezistă la lucrul cu lovituri.

Viteza de aşchiere la honuire V_r se compune din două componente: V_a — viteza de deplasare axială a capului de honuit şi V_p — viteza periferică. Datorită acestor două componente ale vitezei de aşchiere, o granulă abrazivă descrie pe suprafaţa interioară a piesei care se prelucrează o traiectorie elicoidală, cu unghiul de înclinaţie faţă de axa de simetrie a alezajului egal cu α. Valoarea optimă a unghiului α se consideră a fi 45—60°.

Numărul necesar de rotaţii al capului de honuit în funcţie de unghiul α ales şi viteza axială dată se poate determina cu ajutorul nomogramei din figura 8.4.22. Astfel de exemplu pentru unghiul $\alpha = 45°$ şi $V_a = 15$ m/min (pentru honuirea unui alezaj cu diametrul egal cu 50 mm) se obţine o viteză periferică a capului de honuit $V_p = 36$ m/min şi o turaţie $n = 230$ rot/min.

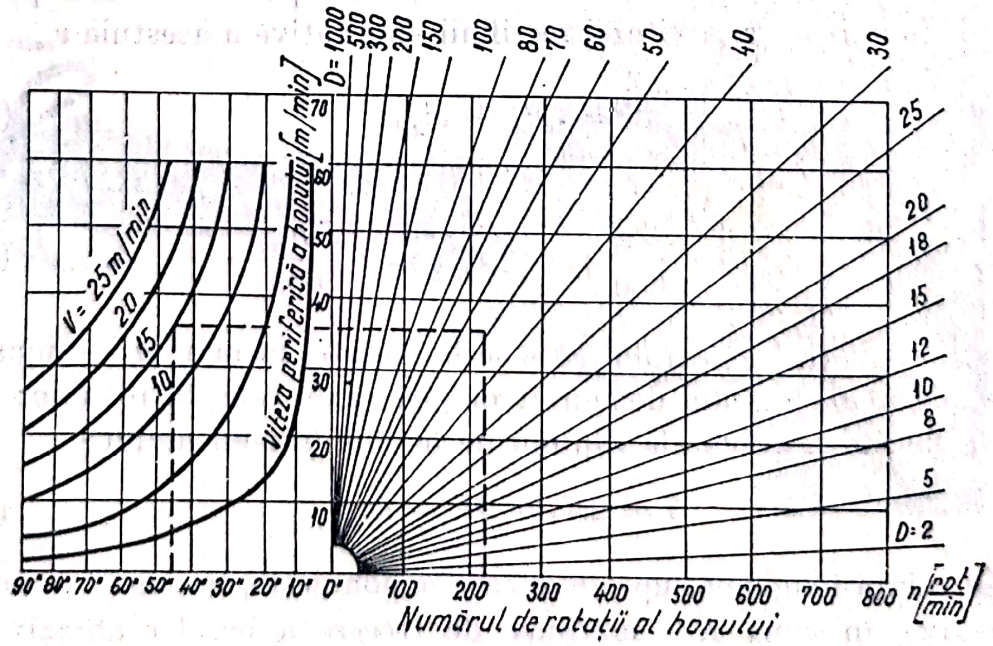


Fig. 8.4.22. Nomogramă pentru determinarea regimului de aşchiere.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.4.8

Regimul de aşchiere la prelucrarea prin honuire

Materialul piesei	Felul honuirii	V_p m/min	$\alpha°$	V_p, m/min	V_a m/min	Indicii barei abrazive
1	2	3	4	5	6	7
Fontă cenuşie	semifinisare	25—30	45	23—28	10—12	SG
	finisare	pînă la 35	45	32	13,5	
Oţel moale	semifinisare	20—25	50—60	18—22	9—11	NK, HK
	finisare	pînă la 28	45	25	12	
Oţel aliat	semifinisare	25—30	45	23—28	10—12	EKW
	finisare	pînă la 33	45	31	12	
Oţel cu 70—80 daN/mm²	semifinisare	25	45	23	10	EKW
	finisare	pînă la 28	45	26	11	
Oţel călit	semifinisare	15—22	40	14—22	5—8	EKW
	finisare	pînă la 30	40	28	10	
Aluminiu	semifinisare	25—30	60	21—26	12—15	SC
	finisare	35	45	30	17,5	
Bronz	semifinisare	25—30	60	21—26	12—26	SC
	finisare	35	45	30	17,5	
Alamă	semifinisare	18—30	60	15—26	9—15	SC
	finisare	50	30	48	16	
Cupru	semifinisare	25—30	60	21—26	12—15	SC
	finisare	40	45	38	16	

În tabelul 8.4.8 se dau regimurile de aşchiere recomandate pentru prelucrarea prin honuire.

În ultimul timp se utilizează bare pentru honuit confecţionate din praf de diamant cu liant de bronz de diverse dimensiuni (lungimea 60—125 mm, lăţimea 5—15 mm) şi granulaţii. Durabilitatea barelor de honuit cu praf de diamant exprimată în număr de bucăţi de piese prelucrate (de exemplu cămăşi de cilindri ai motoarelor cu ardere internă, cu diametrul de 98,4 mm şi lungimea 211 mm din fontă) este de 30 000 buc,. faţă de 70—80 buc. la honuirea cu bare abrazive de corindon. Costul unei piese honuite cu bare de praf de diamant este de 10 ori mai mic decît al pieselor honuite cu bare abrazive. Timpul de lucru la honuirea cu astfel de bare este de aproximativ 1 min şi este egal cu cel la honuirea cu bare abrazive de corindon (vezi „Industr. Diamond Rev". 1965, 25, Nr. 293, 158—159). Regimul de aşchiere: $V_p = 62{,}8$ m/min; ($n = 250$ rot/min, $D = 80$ mm), $V_a = 100$ curse/min (lungimea piesei 102 mm).

La honuirea cu bare cu diamant cu granulaţia A.25 şi A.10 a pieselor cu duritatea de 56—63 HRC, productivitatea maximă se obţine la lucrul cu $V_p = 45$ m/min. Presiunea asupra barelor $p = 100 \div 120$ N/cm². Calitatea suprafeţei obţinute este cuprinsă în clasa 6 de netezime.

● *Influenţa fenomenelor hidrodinamice din zona de aşchiere asupra procesului de honuire.* La honuire, în spaţiul dintre suprafeţele barelor abrazive şi a piesei are loc mişcarea particulelor mici de material abraziv şi liant, precum şi a lichidului de răcire-ungere, care are o mare influenţă asupra eficacităţii şi calităţii prelucrării. Este deosebit de dificil a se crea (elabora) o teorie matematică a mişcării „amestecului" de resturi de abrazive şi lichid de răcire-ungere în zona de aşchiere, în care să se ţină seama de toţi factorii care acţionează asupra fenomenului foarte complex care are loc. Se pot însă analiza separat cele mai importante fenomene din aceste procese complexe şi să se determine influenţa lor asupra parametrilor tehnologici ai honuirii.

Scanned with OKEN Scanner

La curgerea forțată a lichidului de răcire-ungere, ca de altfel la curgerea oricărui lichid de ungere printre două corpuri care alunecă unul față de celălalt, poate să apară o creștere a presiunii ca urmare a fenomenului penei hidrodinamice, a variației viscozității lichidului respectiv.

În procesul de așchiere prin honuire, aceste două fenomene joacă un rol deosebit, de aceeea se studiază influența lor asupra eficacității honuirii.

P a n a h i d r o d i n a m i c ă. Sub influența forței de așchiere, barele abrazive deformează elastic corpul dispozitivului de honuit, ceea ce face ca barele abrazive să se răsucească sub un anumit unghi față de suprafața piesei care se prelucrează, formînd o pană hidrodinamică.

La începutul perioadei de honuire are loc un proces intens de așchiere, deoarece contactul dintre granulele abrazive și microasperitățile suprafeței este punctiform. Acest lucru face ca forța de așchiere să fie mare. Datorită atît forței mari de așchiere, precum și erorilor de formă și dimensiune, barele abrazive se răsucesc și o dată cu această răsucire are loc și deformația elastică a capului de honuit.

În această perioadă de timp uzura barelor abrazive este maximă și suprafața barelor abrazive devine plană față de suprafața piesei și ocupă o poziție corespunzătoare unghiului maxim de răsucire (fig. 8.4.23).

În etapa următoare, după ce au fost înlăturate în cea mai mare măsură erorile de formă ale piesei, adică după aproximativ 10—20 s de la începutul prelucrării, forța de așchiere se micșorează de 1,5—3 ori și barele sub acțiunea elasticității corpului dispozitivului se răsucesc în direcție inversă, apropiindu-se de poziția inițială. În felul acesta, în etapa a doua a procesului de honuire curgerea lichidului de răcire-ungere are loc în spațiul îngustat, datorită căruia se și creează presiunea mărită.

Presiunea medie a lichidului de răcire-ungere în pana hidrodinamică se poate aproximativ aprecia pe baza teoriei ungerii, considerînd că temperatura curentului este constantă, cu relația:

$$Q_m = \left[\frac{6l_n(1+k)}{k^2} - \frac{12}{k(k+2)}\right]\frac{v_{aș}\cdot\eta\cdot B}{\delta_0^2} = C_\delta\,\frac{v_{aș}\cdot\eta\cdot B}{\delta_0^2}, \quad (8.4.25)$$

în care: $v_{aș}$ reprezintă viteza de așchiere: η — viscozitatea lichidului de răcire-ungere; B — lățimea barei abrazive; $k = \frac{\delta_1 - \delta_0}{\delta_0}$ — coeficientul de îngustare a spațiului; C_δ — coeficient care depinde de k, în concordanță cu (8.4.25). Mărimea micșorării jocului $\sigma = (\delta_1 - \delta_0)$ depinde de variația forței de așchiere ΔF_{0k} în procesul de așchiere și rigiditatea corpului dispozitivului de honuit (fig. 8.4.24).

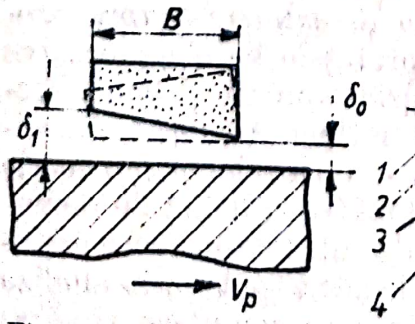


Fig. 8.4.23. Pana hidrodinamică.

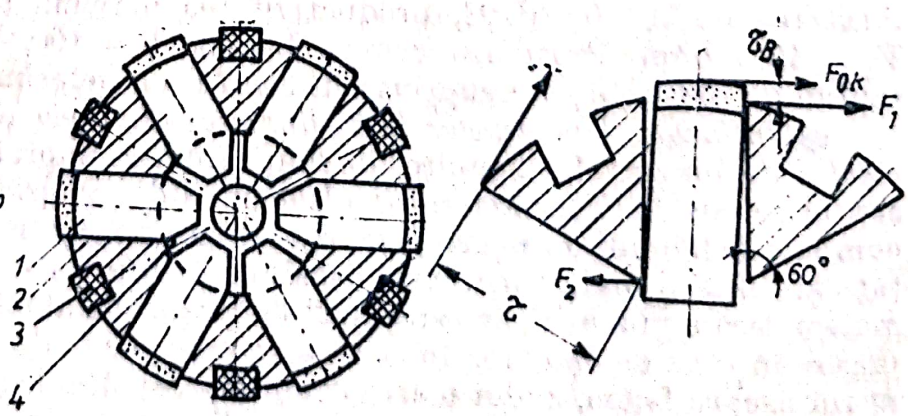


Fig. 8.4.24. Răsucirea dispozitivului port bare

La prelucrarea bucşelor care au o eroare mare de formă, forţele de aşchiere cresc foarte mult, ceea ce face ca barele abrazive să se răsucească cu un unghi mare şi spaţiul dintre ele şi piesă nu se îngustează, ci se lărgeşte în direcţia mişcării ($\delta_1 < \delta_0$). Datorită acestui lucru presiunea în curentul de lichid răcire-ungere devine negativă, apare (ia naştere) cavitaţia şi ruperea peliculei de ungere în zona de aşchiere, lucru care poate conduce la apariţia depunerilor pe suprafaţa barelor şi întreruperea procesului de aşchiere.

Influenţa presiunii hidrodinamice în procesul de honuire. Creşterea presiunii amestecului şi a lichidului de răcire-ungere în spaţiul de sub barele abrazive micşorează forţa care înfige granulele abrazive în metal, ceea ce face ca productivitatea prelucrării să se micşoreze.

În urma unor studii analitice s-a ajuns la concluzia importantă că, viteza de prelevare de metal de pe suprafaţa piesei nu depinde liniar de viteza de aşchiere şi de lăţimea barelor abrazive, iar intensitatea prelevării se micşorează cu creşterea vitezei de aşchiere şi a lăţimii barelor. De aceea există unele valori limită ale vitezei de aşchiere şi a lăţimii barelor abrazive, depăşirea cărora conduce la reducerea vitezei de prelucrare a metalului.

Ecuaţia valorilor limită este următoarea:

$$(v \cdot_{aş} B) = \frac{Q\delta^2}{C_Q \cdot \eta(1+t)}, \qquad (8.4.26)$$

în care: Q este presiunea hidrodinamică; C_Q — coeficient care depinde de Q; δ — interstiţiul dintre bară şi suprafaţa piesei; η — viscozitatea lichidului de răcire-ungere; t — constantă care depinde de caracteristicile barelor şi a materialelor care se prelucrează.

Studiile făcute, ajută la elucidarea fenomenelor complexe care au loc în procesul de honuire.

În concluzie se arată următoarele.

Cunoaşterea existenţei presiunii amestecului şi a lichidului de răcire-ungere în zona de aşchiere, descoperă cauzele reducerii intensităţii prelevării metalului o dată cu creşterea vitezei de aşchiere, atunci cînd unghiul de răsucire a barelor este constant.

Creşterea viscozităţii lichidului de răcire-ungere conduce la creşterea presiunii în spaţiul de sub barele abrazive şi la reducerea vitezei de prelucrare a metalului.

Din relaţia (8.4.26) rezultă că, limitele vitezei de aşchiere şi a lăţimii barelor abrazive se micşorează cu creşterea viscozităţii η a lichidului de răcire-ungere.

Calcule aproximative pentru cazul honuirii cu bare diamantate a cămăşilor de cilindri din fontă dovedesc că, în cazul răcirii cu petrol curat (a cărui viscozitate: $\eta = 1{,}7$ MPa · s), viteza de aşchiere este $v_{aş} = 2{,}8$m/s, iar atunci cînd se foloseşte un amestec de petrol cu ulei (cu $\eta = 5$ MPa · s), viteza de aşchiere scade la $v_{aş} = 1$ m/s.

Datele experimentale din practică şi literatura de specialitate confirmă concluziile de mai sus. Astfel, se indică că viteza optimă de aşchiere la honuirea fontei cu bare diamantate, în cazul utilizării unui lichid de răcire-ungere cu viscozitate mică, este de 1,3 ... 1,6 m/s, iar cu creşterea viscozităţii viteza de aşchiere scade pînă la 0,8 m/s.

Rezultă în concluzie, deci, că reducerea presiunii amestecului şi a lichidului de răcire-ungere constituie o rezervă mare pentru creşterea eficienţei

Scanned with OKEN Scanner

și calității honuirii. Acest lucru se poate obține prin executarea unor canale pe suprafața aşchietoare a barelor, prin utilizarea de lianți poroși și alte măsuri similare.

8.4.2.7. **Lepuirea suprafețelor interioare ale bucșelor.** În urma rectificării interioare, după cum s-a arătat, rugozitatea suprafeței rectificate este cuprinsă între $R_a = 0{,}2 - 0{,}8$ μm, iar precizia de prelucrare cuprinsă în clasa 6 de precizie în cazul unei prelucrări mai atente.

Pentru a se obține atît o calitate a suprafeței cît și o precizie de prelucrare superioară, piesa rectificată se lepuiește.

Lepuirea, interioară se face cu ajutorul unui dorn din fontă elastic, rectificat la exterior, avînd diametrul cu 0,01—0,02 mm mai mic decît diametrul găurii ce urmează a se lepui. Un astfel de dorn de lepuit este reprezentat în figura 8.4.25.

Dornul de fontă, după cum se vede, este despicat în trei și este prevăzut cu o gaură în care se introduce un cui din lemn.

Dornul se prinde în universalul mașinii de lepuit, sau al unui strung. Bucșa ce urmează a se lepui se introduce pe dornul de lepuit, ținîndu-se fie cu mîna, fie cu un clește special. Înainte de a se introduce bucșa pe dorn, dornul este acoperit cu un strat de pastă de lepuit, format din seu sau vaselină specială amestecată cu praf abraziv. Pentru lepuirea fină se folosește o pastă abrazivă cu dimensiunile granulelor de 1—10—25 μm. Bucșa este apoi mișcată înainte și înapoi în lungul dornului de lepuit și pe măsură ce diametrul interior al bucșei se mărește sau se uzează diametrul dornului, se introduce mai adînc cuiul conic din lemn în dorn, mărindu-se astfel diametrul acestuia.

Rugozitatea suprafeței lepuite este cuprinsă între $R_a = 0{,}05 - 0{,}012$ μm, iar precizia de prelucrare în clasa 1 sau chiar clasa 0(zero) de precizie.

Adaosul de prelucrare ce se lasă pentru lepuit este de 10—20 μm.

Lepuirea este foarte neproductivă și de aceea se folosește numai în producția individuală și de serie mică, îndeosebi în sculării la executarea verificatoarelor.

Pentru creșterea productivității acestui procedeu de prelucrare a alezajelor de înaltă precizie se aplică sculei de lepuit oscilații ultrasonore în direcție axială cu o frecvență de 18 și 22 KHz. Piesa execută o mișcare rectilinie-alternativă de-a lungul dornului cu o frecvență de 60 curse duble pe minut și o amplitudine de 10 mm.

Mișcarea rectilinie-alternativă a sculei efectuată cu o frecvență ultrasonoră, imprimă viteze foarte mari de așchiere granulelor abrazive, care dislocă particule fine de metal de pe suprafața piesei pe care o netezește și o lustruiește.

Jocul dintre scula de lepuit și piesă, înainte de începerea lucrului este de 0,03—0,06 mm. Experiențele au fost efectuate pe o piesă cu diametrul

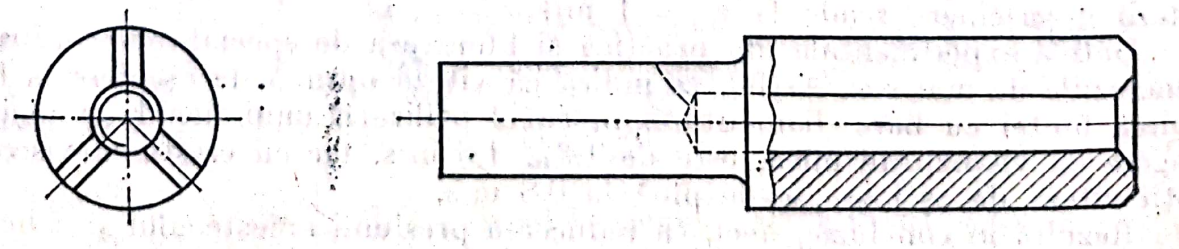


Fig. 8.4.25. Dorn pentru lepuit.

Scanned with OKEN Scanner

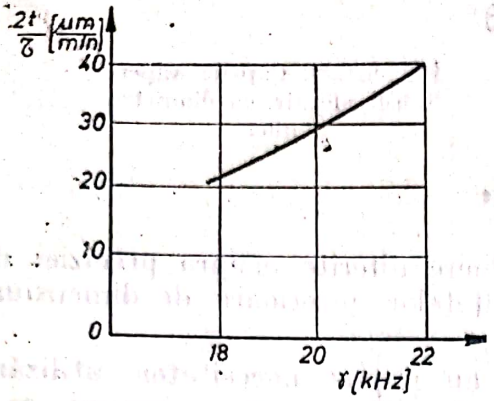


Fig. 8.4.26. Variația grosimii stratului de metal îndepărtat funcție de frecvență.

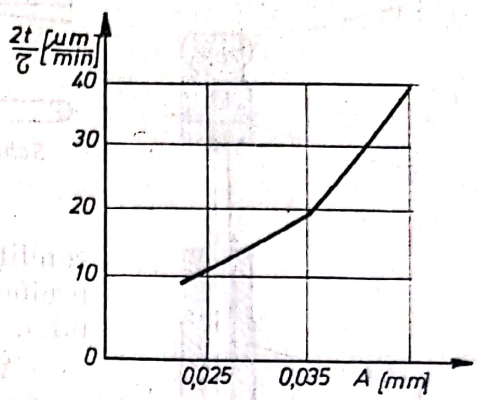


Fig. 8.4.27. Variația grosimii stratului de metal îndepărtat, funcție de amplitudine.

alezajului de 10 mm și lungimea de 50 mm, confecționată din oțel 18MoCN13, cu suprafața interioară cementată și călită cu duritatea de 58—63 HRC.

Factorii de bază care influențează asupra productivității prelucrării sînt mărimea frecvenței și a amplitudinii oscilațiilor ultrasonore a sculei, viteza periferică a sculei, mărimea jocului dintre sculă și piesă și mărimea granulelor abrazive.

Productivitatea prelucrării este exprimată prin mărimea pe diametru a adîncimii stratului de metal $2t$ exprimată în μm în unitatea de timp, exprimată în secunde, funcție de frecvența oscilației sculei (fig. 8.4.26).

O influență la fel de mare asupra productivității o are și amplitudinea oscilației A reprezentată în figura 8.4.27. O amplitudine mai mare de 0,04 mm reclamă o creștere a puterii instalației și conduce la încălzirea excesivă a convertizorului magnetostrictiv.

Viteza periferică a sculei nu influențează în măsură mare asupra productivității, valoarea ei optimă variind între 10—20 m/min. În schimb, o influență mare asupra productivității o are mărimea jocului dintre sculă și piesă, lucru care reiese din figura 8.4.28.

Mijlocul cel mai eficient de ridicare a productivității prelucrării îl constituie imprimarea unei oscilații ultrasonore de rezonanță sculei, în direcție axială.

8.4.2.8. **Superfinisarea alezajelor cu diametrul mic (∅ 6 — 10 mm).** Prelucrarea de finisare a alezajelor cu diametrul mic (cuprins între 5—10mm) pentru obținerea unei precizii dimensionale și a unei calități ridicate a suprafeței prelucrate, prezintă dificultăți mai mari față de prelucrarea suprafețelor exterioare de aceleași dimensiuni.

Dificultățile sînt provocate pe de o parte de dimensiunile și rigiditățile mici ale sculelor pentru prelucrările de orice fel ale suprafețelor interioare, iar pe de altă parte, de influența mult mai mare a uzurii sculelor și a

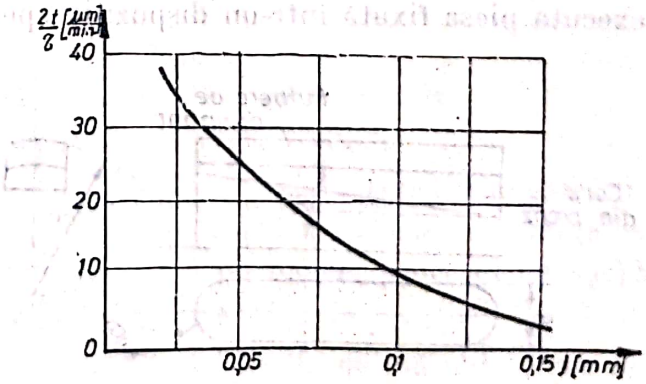


Fig. 8.4.28. Variația grosimii stratului de metal îndepărtat funcție de mărimea jocului dintre sculă și piesă.

Scanned with OKEN Scanner

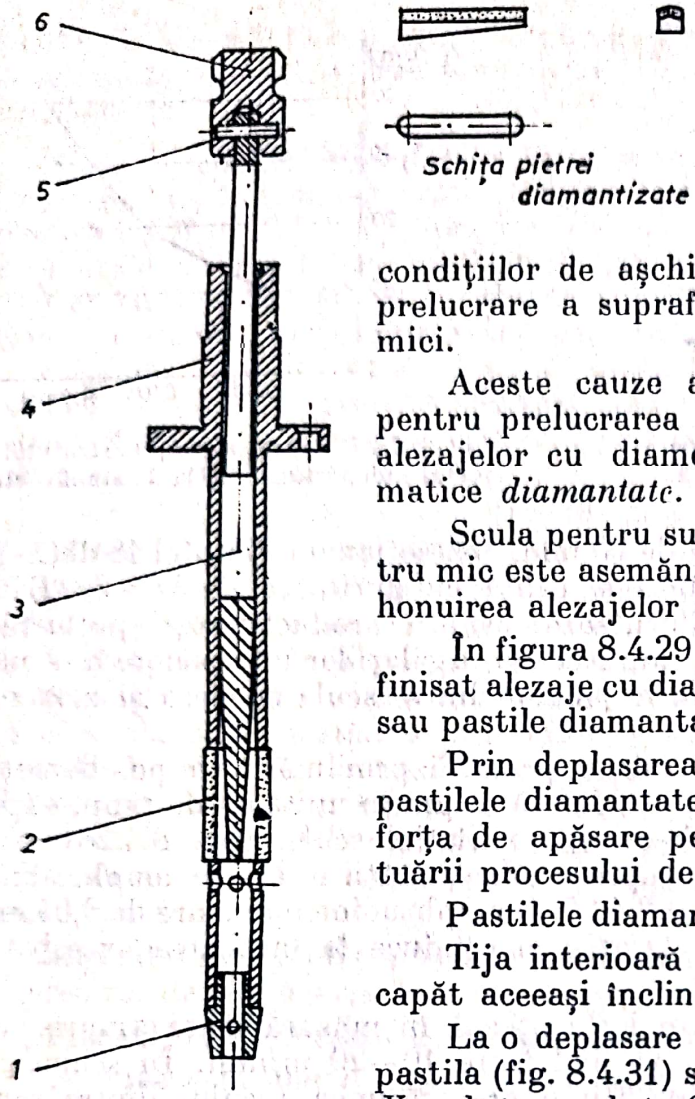


Fig. 8.4.29. Cap de superfinisat alezaje cu diametru mic.

condițiilor de așchiere diferite asupra preciziei de prelucrare a suprafețelor interioare de dimensiuni mici.

Aceste cauze au impus necesitatea utilizării pentru prelucrarea de finisare prin superfinisare a alezajelor cu diametru mic, a unor plăcuțe prismatice *diamantate*.

Scula pentru superfinisarea alezajelor cu diametru mic este asemănătoare cu capul de honuit pentru honuirea alezajelor cu diametrul de 50—100 mm.

În figura 8.4.29 este prezentat un cap de superfinisat alezaje cu diametru mic, prevăzut cu 3—6 bare sau pastile diamantate.

Prin deplasarea axială a tijei interioare conice, pastilele diamantate se deplasează radial și exercită forța de apăsare pe suprafața piesei necesară efectuării procesului de așchiere.

Pastilele diamantate au forma din figura 8.4.30.

Tija interioară a capului de superfinisat are la capăt aceeași înclinație α ca și pastilele, egală cu 3°.

La o deplasare axială l a tijei egală cu 1 mm pastila (fig. 8.4.31) se deplasează radial cu o mărime $X = l \cdot \text{tg}\alpha = l \cdot \text{tg } 3° = 1 \cdot 0{,}05 = 0{,}05$ mm.

Tija cu capul conic pe care se reazemă pastilele diamantate, este fixată într-o mandrină ca cea din figura 8.4.32. Mandrina respectivă se introduce în arborele principal al mașinii de superfinisat de la care primește mișcarea de rotație pe care o transmite capului de superfinisat. Acesta din urmă, în timpul procesului de superfinisare execută și o mișcare de avans longitudinal, rectiliniu alternativ egal cu 0,04—0,2 mm/rot.

Mișcarea vibratorie axială caracteristică procedeului de superfinisare o execută piesa fixată într-un dispozitiv special, care primește mișcarea vibra-

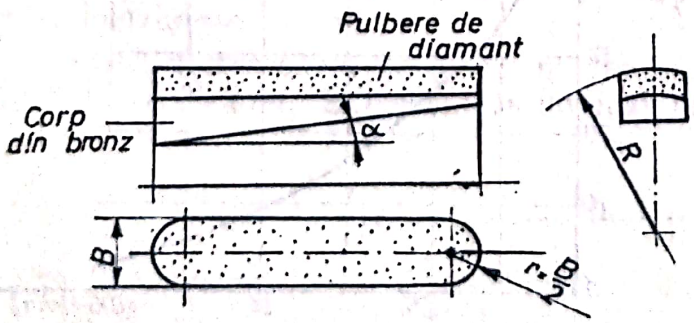


Fig. 8.4.30. Pastilă diamantată.

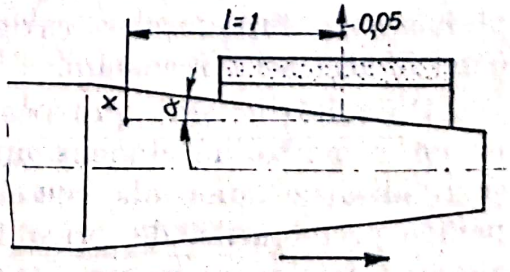


Fig. 8.4.31. Schemă de calcul a deplasării radiale a pastilei capului de superfinisat.

Scanned with OKEN Scanner

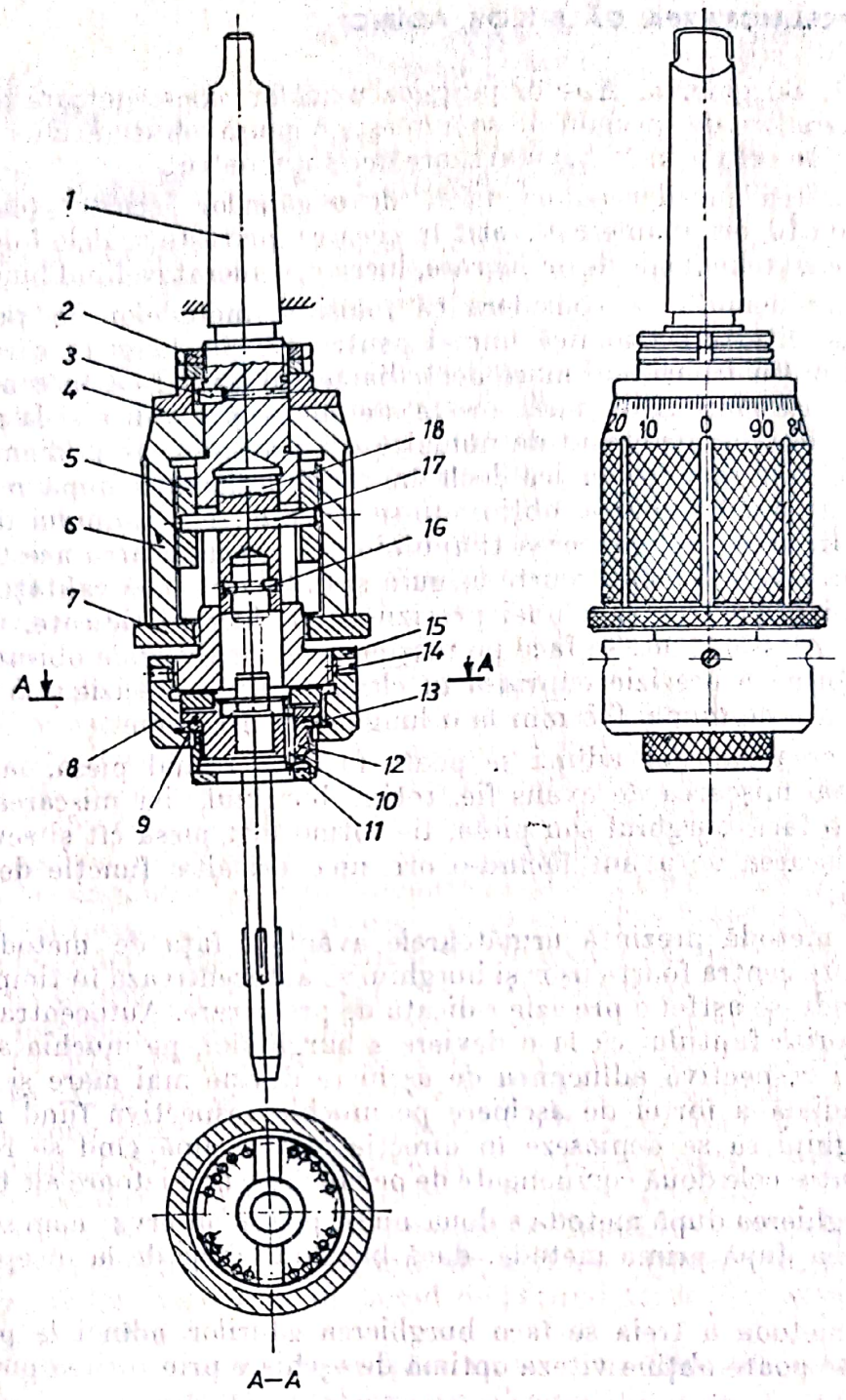


Fig. 8.4.32. Mandrină port-cap de superfinisat interior.

torie de la un mecanism mecanic sau pneumatic. Caracteristicile mișcării vibratorii sînt aceleași ca cele ale dispozitivului de superfinisat suprafețe exterioare prezentate în paragraful 8.4.2.8. De asemenea, procesul de așchiere are loc la fel ca cel descris în paragraful amintit.

Rugozitatea suprafeței superfinisate este funcție de mărimea granulației pastilei diamantate. Astfel, cu o pastilă cu granulația de 300 ochiuri/inch cu liant de bronz s-a obținut o rugozitate $R_a = 0{,}2$ μm.

Scanned with OKEN Scanner

8.4.3. PRELUCRAREA GĂURILOR ADÎNCI

8.4.3.1. **Burghierea.** Atît în practica uzinelor constructoare de mașini, cît și în literatura de specialitate se numește o gaură adîncă atunci cînd lungimea ei este de cel puțin 10 ori mai mare decît diametrul.

Prelucrarea găurilor adînci diferă de a găurilor „scurte" (cu lungimea mai mică de 10 ori diametrul), atît în ceea ce privește sculele folosite, cît și însuși procesul tehnologic de prelucrare, lucru considerat ca fiind bine cunoscut.

Pînă nu demult, se considera că folosirea metodelor de prelucrare a găurilor adînci este economică numai pentru găurile lungi (a căror lungime este de cel puțin 10 ori mai mare decî diametrul lor). Însă în condițiile producției de serie mare și de masă aceste metode se pot aplica și la prelucrarea găurilor a căror lungime este de numai 4 ori mai mare decît diametrul, prelucrarea lor fiind mai economică decît în cazul prelucrării după metodele de prelucrare a găurilor scurte, obținîndu-se o reducere a timpului de lucru cu 50—75%. În afară de reducerea timpului de lucru, aplicarea acestor metode la prelucrarea găurilor mai scurte asigură și obținerea unei calități superioare a suprafeței prelucrate și a unei precizii de prelucrare ridicate. Chiar dacă prelucrarea acestor găuri se face pe mașini-unelte universale obișnuite, totuși se poate obține o precizie cuprinsă în clasa 8—9 de precizie și o abatere de la coaxialitate de numai 0,5 mm la o lungime de 1000 mm.

Burghierea găurilor adînci se poate face fie rotind piesa, iar burghiul făcînd numai mișcarea de avans fie, rotind burghiul, iar mișcarea de avans urmînd să o facă burghiul sau piesa, fie rotind atît piesa cît și scula în sens contrar, mișcarea de avans făcînd-o ori una ori alta funcție de construcția mașinii.

Prima metodă prezintă următoarele avantaje față de metoda a doua: piesa se poate centra foarte ușor și burghiul se autocentrează în timpul burghierii asigurîndu-se astfel o precizie ridicată de prelucrare. Autocentrarea se realizează datorită faptului că la o deviere a burghiului, pe muchia așchietoare din direcția respectivă adîncimea de așchiere devine mai mare și deci componenta radială a forței de așchiere pe muchia respectivă fiind mai mare, obligă burghiul să se deplaseze în direcția opusă, pînă cînd se restabilește echilibrul între cele două componente de pe muchiile așchietoare ale burghiului.

La burghierea după metoda a doua nu se poate observa, cum se întîmplă la burghierea după prima metodă, dacă burghiul chiar de la început s-a descentrat.

După metoda a treia se face burghierea găurilor adînci la piese grele, la care nu se poate obține viteza optimă de așchiere prin rotirea piesei.

Burghiele cu diametre mici prevăzute cu canal pentru evacuarea așchiilor prin interiorul lor prezintă pericolul de înțepenire cu așchii. De aceea, la burghierea găurilor cu diametre mai mici de 16—20 mm se recomandă ca evacuarea așchiilor să se facă prin exteriorul burghiului.

La burghierea găurilor cu diametre mai mari de 16—20 mm se recomandă a se face evacuarea așchiilor prin interiorul burghiului, întrucît pe lîngă faptul că se asigură obținerea unei calități superioare a suprafeței, se reduce mult și timpul de lucru. Astfel, de exemplu, la burghierea unei găuri cu diametrul de 60 mm și lungimea de 3 m într-o piesă cu $\sigma_r = 850—900$ MPa cu un burghiu cu evacuarea așchiilor prin interior, timpul de mașină a fost de 55 min, iar la găurirea cu un burghiu cu evacuarea așchiilor prin exteriorul burghiului a fost de 210 min. Burghiul prevăzut cu posibilitatea evacuării

Scanned with OKEN Scanner

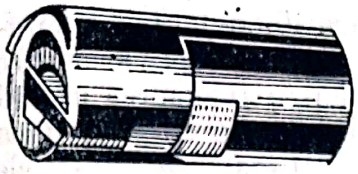


Fig. 8.4.33. Burghiu special pentru burghiere adîncă din plin.

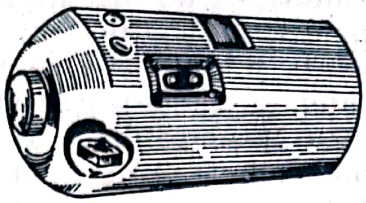


Fig. 8.4.34. Burghiu special pentru lărgirea alezajelor adînci.

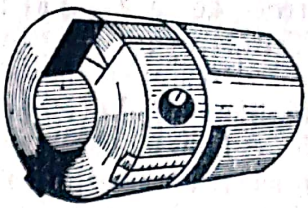


Fig. 8.4.35. Burghiu special pentru burghiere inelară.

aşchiei prin interiorul lui are o secţiune tubulară a corpului foarte rezistentă, ceea ce permite burghierea cu avansuri mari. Burghiele de acest fel se utilizează atît pentru burghierea din plin (fig. 8.4.33), pentru lărgirea alezajelor (fig. 8.4.34) cît şi pentru burghierea inelară (fig. 8.4.35). Burghiului pentru lărgirea alezajelor adînci i se prevăd pentru preîntîmpinarea devierii lui, nervuri de ghidare suplimentare schimbabile din material sintetic, dispuse în partea opusă muchiei aşchietoare. Acest burghiu este prevăzut cu posibilitatea de reglare pentru diferite dimensiuni într-un interval anumit.

Alezajele cu diametrul mai mare de 50 mm pot fi executate foarte economic prin burghiere inelară cu burghiul reprezentat în figura 8.4.35. Lungimea muchiilor aşchietoare poate să fie de la 1/3—1/6 din diametrul alezajului, de aceea miezul central care rămîne poate fi utilizat drept semifabricat pentru diferite piese. La burghierea cu acest burghiu datorită lungimii mici a muchiei aşchietoare în comparaţie cu burghiul din figura 8.4.33, se obţine o secţiune a aşchiei mult mai mică, ceea ce permite lucrul cu avansuri mai mari decît la burghierea cu burghiul amintit pentru acelaşi diametru, necesitînd în acelaşi timp o putere mult mai mică pentru burghiere. Astfel, de exemplu pentru burghierea din plin a unui alezaj cu diametrul de 60 mm într-o bară de oţel, cu un burghiu ca cel din figura 8.4.33 este necesară o putere de 42,5 kW, iar pentru burghierea inelară a aceluiaşi alezaj este necesară o putere de numai 24,2 kW. În afară de aceasta la burghiul tubular pentru burghierea inelară durabilitatea muchiilor aşchietoare este mult mai mare, întrucît acestea nu aşchiază în zona vitezelor mici, cum se întîmplă acest lucru la burghierea cu orice alt burghiu. Şi acest burghiu ca şi precedentele este armat cu pastile din carburi metalice şi este prevăzut cu nervuri de ghidare.

Economicitatea procesului tehnologic de burghiere, a alezajelor adînci depinde de următorii factori: regimul de aşchiere, geometria părţii aşchietoare a burghiului, cantitatea de lichid de răcire-ungere şi presiunea cu care este introdus în zona de aşchiere.

Se recomandă ca viteza de aşchiere să fie între 80—120 m/min; funcţie de calitatea materialului de prelucrat se alege atît viteza de aşchiere cît şi avansul. Geometria părţii aşchietoare este dată în cursurile de aşchiere şi scule.

Drept lichid de răcire-ungere se recomandă uleiurile sulfuroase foarte fluide (sulfofrezol). Nu se recomandă utilizarea emulsiilor, întrucît ele fac spumă şi băşicuţe foarte dăunătoare; să se evite posibilitatea de a intra în uleiul folosit apă şi aer. De asemenea uleiul trebuie bine filtrat pentru a nu ajunge în zona de aşchiere o dată cu uleiul resturi de aşchii care pot deteriora muchiile aşchietoare ale burghiului.

Cantitatea de ulei necesară pentru răcire-ungere este funcţie de diametrul alezajului care se prelucrează. Cu cît diametrul găurii este mai mare, cu atît mai mare trebuie să fie cantitatea de ulei şi anume, pentru diame-

Scanned with OKEN Scanner

trele de la 8—250 mm cantitatea de ulei necesară este de 20—120 l/min. Temperatura uleiului trebuie să se mențină între 18—30°C.

Presiunea uleiului variază și ea funcție de mărimea diametrului și adîncimii alezajului. Pentru limitele de diametre indicate, presiunea poate varia între 5—8 bar. Presiunea scade cu creșterea diametrului. Pentru evacuarea ușoară a așchiilor presiunea uleiului trebuie să fie cu atît mai mare cu cît adîncimea alezajului este mai mare. Evacuarea așchiilor se face cu atît mai ușor cu cît ele sînt mai mărunte, lucru care se poate realiza dacă unghiul de degajare este de aproximativ 0° sau dacă acest lucru nu este suficient, atunci muchiile așchietoare trebuie să fie prevăzute cu spărgătoare de așchii.

Întrucît nu se pot recomanda valori precise pentru regimul de așchiere, este bine ca mașinile-unelte utilizate pentru burghiere să aibă posibilitatea varierii continue a numărului de turații ale arborelui principal, precum și a variației continue a avansului. În felul acesta se poate alege ușor, din cîteva încercări în limitele vitezelor recomandate, viteza optimă de așchiere, precum și avansul [80].

8.4.3.2. **Alezarea alezajelor adînci precise.** În multe sectoare ale industriei constructoare de mașini, alezarea rapidă a alezajelor adînci a devenit o problemă foarte importantă, întrucît față de alezarea obișnuită, această metodă mărește productivitatea de 2,5—3 ori, îmbunătățește calitatea suprafeței și precizia alezajului prelucrat.

În cele ce urmează se redau rezultatele experimentale [70] în legătură cu studiul preciziei de prelucrare la alezarea rapidă de degroșare și finisare a alezajelor adînci, cu diametrul egal cu 15—16 mm și lungimea de 50 D (D = diametrul alezajului) în piese din OLC 50, cu duritatea HB = 177—217.

Alezoarele folosite pentru alezarea rapidă au trei dinți demontabili din aliaj dur T 15 K 6. Un astfel de alezor este reprezentat în figura 8.4.36, în care se vede corpul *1*, cei trei dinți demontabili din aliaj dur *2* și bucșa de conducere din lemn *3*. Alezorul în timpul așchierii este supus la tensiune, el fiind tras prin alezajul care se alezează de vergeaua metalică în care se înșu-

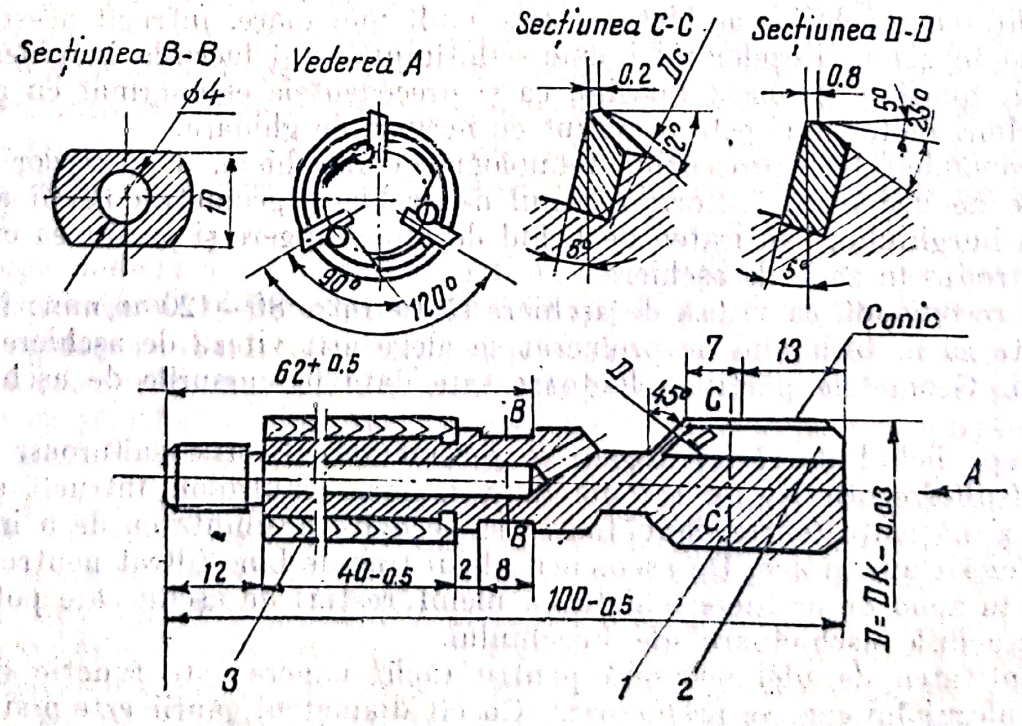


Fig. 8.4.36. Alezor pentru alezarea rapidă a găurilor adînci.

rubează şi care formează coada alezorului. Lichidul de răcire-ungere din canalul interior al cozii şi corpului alezorului trece prin cele trei canale cu diametrul de 2,5 mm dispuse în faţa celor trei dinţi şi ajunge exact în zona de aşchiere. Lichidul fiind injectat sub presiune, ajută în acelaşi timp la evacuarea aşchiilor.

Alezorul este condus corect prin alezajul care se alezează, mai ales la începutul alezării, de către bucşa din lemn *3*. Bucşa de conducere din lemn trece prin alezajul care se alezează fără joc (alunecător). În timpul experienţelor s-a observat că atunci cînd alezarea s-a început de la capătul la care s-a terminat burghierea, la care diametrul alezajului este mai mare, pe la mijlocul alezajului bucşa de conducere s-a înţepenit, dacă diametrul ei a fost egal cu al alezajului la capătul amintit.

Pentru a evita deci înţepenirea bucşei de conducere, trebuie ca diametrul ei să fie mai mic cu 0,05—0,09 mm decît diametrul alezajului de la capătul unde s-a terminat burghierea.

Pentru a se evita apariţia vibraţiilor în timpul alezării, precum şi fisurarea sau spargerea muchiei aşchietoare, a dinţilor alezorului, aceştia trebuie să nu aibă o excentricitate mai mare de 0,04 mm faţă de axa de simetrie a alezorului.

Alezarea rapidă, după cum au confirmat rezultatele experimentale trebuie să se facă cu adîncime de aşchiere mai mare de 2—2,5 ori decît adîncimea de aşchiere la alezarea obişnuită. Astfel de exemplu, la alezarea de finisare cu adîncimea de aşchiere de 0,15—0,18 mm s-a obţinut o calitate a suprafeţei cuprinsă în clasa a 8-a şi o precizie de prelucrare cuprinsă în clasa a 6-a. La alezarea cu o adîncime de aşchiere de numai 0,05—0,10 mm s-a observat o înrăutăţire a calităţii suprafeţei prelucrate şi o uzură prematură a muchiilor aşchietoare ale alezorului.

O altă concluzie la care s-a ajuns în urma experienţelor efectuate este aceea că alezarea rapidă trebuie să se facă cu avansuri mai mici decît cele cu care se face alezarea obişnuită. Influenţa avansului asupra calităţii suprafeţei prelucrate şi asupra preciziei de prelucrare este redată în diagramele din figurile 8.4.37 şi 8.4.38. Prelucrările s-au făcut cu o viteză de aşchiere $v = 72$ m/min şi cu o adîncime de $t = 0{,}175$ mm.

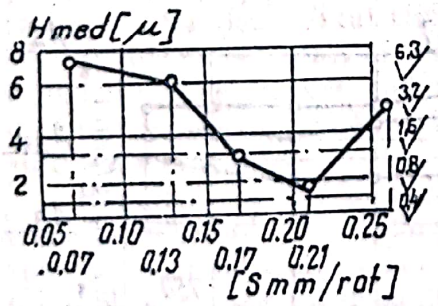


Fig. 8.4.37. Variaţia rugozităţii suprafeţei în funcţie de avansul de lucru la alezarea rapidă a alezajelor adînci cu $v = 72$ m/min şi $t = 0{,}175$ mm.

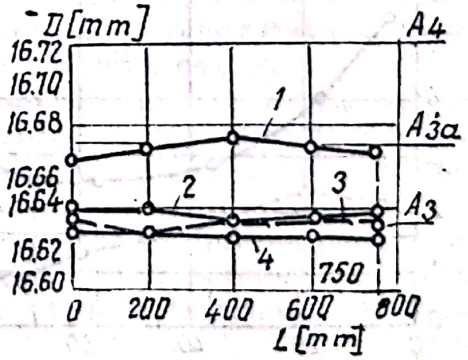


Fig. 8.4.38. Variaţia diametrului alezajului în secţiune longitudinală, funcţie de avansul de lucru la alezarea rapidă a alezajelor adînci cu $v = 72$ m/min şi $t = 0{,}175$ mm;
1 — $s = 0{,}26$ mm/rot; *2* — $s = 0{,}21$ mm/rot; *3* — $s = 0{,}13$ mm/rot; *4* — $s = 0{,}17$ mm/rot.

Scanned with OKEN Scanner

După cum se vede în figura 8.4.37, la alezarea rapidă de finisare cu avansuri de la 0,05—0,25 mm/rot., calitatea suprafeței oscilează în limite foarte mari.

Calitatea cea mai inferioară a suprafeței s-a obținut la alezarea cu avansuri cuprinse între 0,07—0,13 mm/rot.

Calitatea cea mai bună a suprafeței s-a obținut la alezarea cu avansul de $s = 0{,}21$ mm/rot, după care calitatea suprafeței se înrăutățește din nou.

Calitatea inferioară a suprafeței la alezarea cu avansuri mici se explică prin aceea că așchiile mărunte se lipesc pe fața de degajare a dinților alezorului și apoi se înțepenesc între muchiile așchietoare ale dinților și suprafața care se prelucrează a piesei.

Calitatea inferioară a suprafeței la alezarea cu avansuri mari (mai mare de 0,21 mm/rot) se datorește faptului că la intrarea în așchie au loc șocuri care știrbesc muchiile așchietoare ale dinților alezorului.

Precizia de prelucrare cea mai mare se obține la alezarea cu avansuri cuprinse între 0,13 și 0,17 mm/rot, după cum se vede în diagrama din figura 8.4.38.

Influența vitezei de așchiere asupra calității suprafeței și preciziei de prelucrare este reprezentată în diagramele din figurile 8.4.39 și 8.4.40.

Dealtfel în diagrama din figura 8.4.39 este reprezentată și influența adîncimii de așchiere asupra calității suprafeței prelucrate și asupra preciziei de prelucrare.

Cu adîncimea de așchiere egală cu $t = 0{,}25$ mm s-a făcut o alezare de degroșare, iar cu $t = 0{,}175$ mm, o alezare de finisare. Avansul în ambele cazuri a fost egal cu $s = 0{,}21$ mm/rot, iar viteza de așchiere a variat între 7,85—81 m/minut.

Atît la alezarea de degroșare cît și la cea de finisare, calitatea suprafeței s-a îmbunătățit cu creșterea vitezei de așchiere. Dacă însă viteza de așchiere depășește 70 m/min la alezarea de degroșare și 72 m/min la alezarea de finisare, calitatea suprafeței începe să se înrăutățească din cauza vibrațiilor care apar în sistemul tehnologic mașină-unealtă-piesă-sculă.

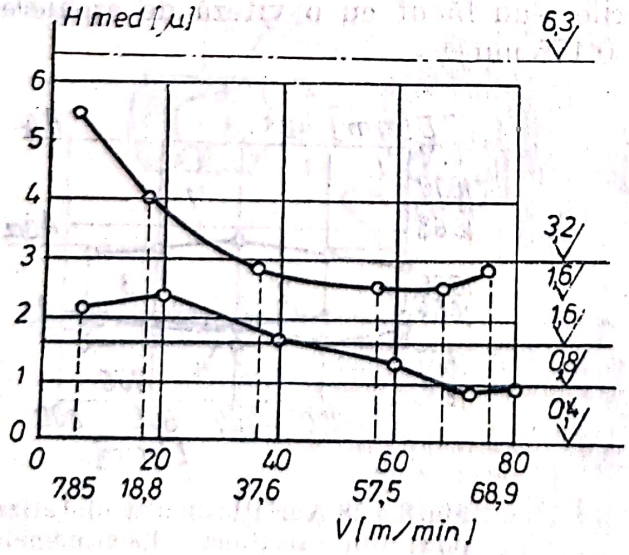


Fig. 8.4.39. Influența vitezei de așchiere asupra rugozității suprafeței la alezarea rapidă a alezajelor adînci:

1 — alezare de degroșare cu $s = 0{,}21$ mm/rot și $t = 0{,}25$ min; *2* — alezare de finisare cu $s = 0{,}21$ mm/rot și $t = 0{,}175$ mm.

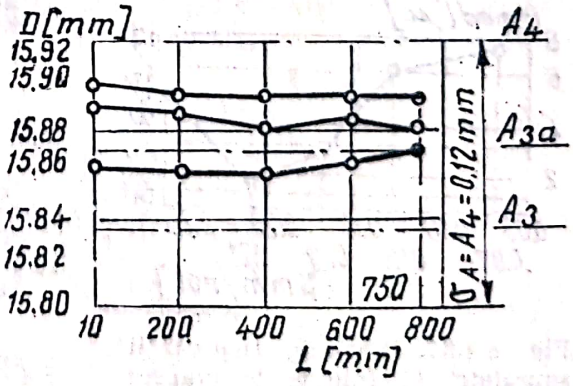


Fig. 8.4.40. Variația diametrului alezajului în secțiune longitudinală funcție de viteza de așchiere la alezarea rapidă a alezajelor adînci: *1* — $v = 68$ m/min; *2* — $v = 58$ m/min; *3* — $v = = 38$ m/min.

Scanned with OKEN Scanner

Viteza de aşchiere influenţează foarte puţin asupra abaterii de la forma corectă a alezajului în secţiune transversală. Astfel, la alezarea de finisare această eroare a fost de 0,005 mm. Viteza de aşchiere influenţează însă mai mult asupra formei geometrice a alezajului în secţiune longitudinală. Cu creşterea vitezei de aşchiere se deformează alezajul la capătul de ieşire a alezorului. Eroarea de formă în secţiune longitudinală la alezarea de degroşare cu o viteză $v = 40—70$ m/min nu întrece 0,01 mm, după cum se vede în diagrama din figura 8.4.40.

Durabilitatea muchiilor aşchietoare ale alezoarelor pentru alezarea rapidă de degroşare şi de finisare, cu regimul de aşchiere care asigură, după cum s-a văzut , atît o calitate a suprafeţei cît şi o precizie de prelucrare ($v =$ $= 68$ m/min, $s = 0{,}21$ mm/rot, şi $t = 0{,}25$ mm la alezarea de degroşare şi $v =$ $= 72$ m/min, $s = 0{,}21$ mm/rot, şi $t = 0{,}175$ mm la alezarea de finisare) este de 62—65 min (la alezarea de degroşare), respectiv de 70—75 min (la alezarea de finisare).

Din cele expuse rezultă superioritatea metodei moderne de alezare faţă de alezarea obişnuită a alezajelor adînci. Introducerea ei în practică nu implică nici un fel de complicaţie şi de investiţie în plus faţă de alezarea obişnuită.

8.4.4. PRELUCRAREA DE FINISARE A ALEZAJELOR CU DIAMETRUL MARE

Prelucrarea de finisare a alezajelor mari, cu o precizie cuprinsă în clasa 7—8 şi cu o calitate a suprafeţei cuprinsă în clasa 8 ($Ra = 3{,}2—1{,}6$ μm) este legată de multe greutăţi tehnologice, mai ales din cauza rigidităţii mai scăzute a sistemului tehnologic maşină-unealtă-piesă-sculă, care influenţează negativ atît asupra preciziei de prelucrare cît şi asupra calităţii suprafeţei prelucrate.

În timpul aşchierii alezajelor mari în diametru apar forţe de aşchiere însemnate, lucru care face ca alezajul conic al arborelui maşinii de alezat să se deformeze şi să dea loc la bătăi radiale. În urma unui studiu făcut în NIIPTMAS asupra a 35 maşini de alezat de fabricaţie sovietică, engleză, germană, cehoslovacă şi altele, s-a constatat că bătaia radială a arborelui întrece cu mult toleranţele prescrise în standardele în vigoare. Aceste bătăi radiale ale arborelui maşinii au influenţe negative asupra preciziei de prelucrare şi a calităţii suprafeţei prelucrate, chiar şi atunci cînd prelucrarea alezajului se face cu un alezor fixat rigid în gaura conică a arborelui maşinii.

În urma cercetărilor experimentale s-a constatat însă că bătaia radială a găurii conice din arborele maşinii are o influenţă mai mică asupra preciziei de prelucrare, în cazul cînd rigiditatea ansamblului arbore principal al maşinii este mai mică.

Rezultate foarte bune se obţin la prelucrarea de finisare pe maşini de alezat a alezajelor cu dimensiunile indicate mai sus, dacă se folosesc alezoare speciale cu numai două muchii aşchietoare, mobile faţă de corpul alezorului, după cum se vede în figura 8.4.41.

Noul alezor constă din corpul *1* cu două alezaje perpendiculare între ele, în care poate intra glisant bucşa *2*. În bucşa *2* se fixează într-un capăt şi altul al ei cuţitele *3*, cu ajutorul a cîte două şuruburi cu pană conică *4*. Pentru a împiedica bucşa *2* să se rotească în jurul axei sale în ea s-a prevăzut un canal de pană în care intră capul cilindric al şurubului *6* prevăzut, după cum se vede în figură, cu contrapiuliţă.

Scanned with OKEN Scanner

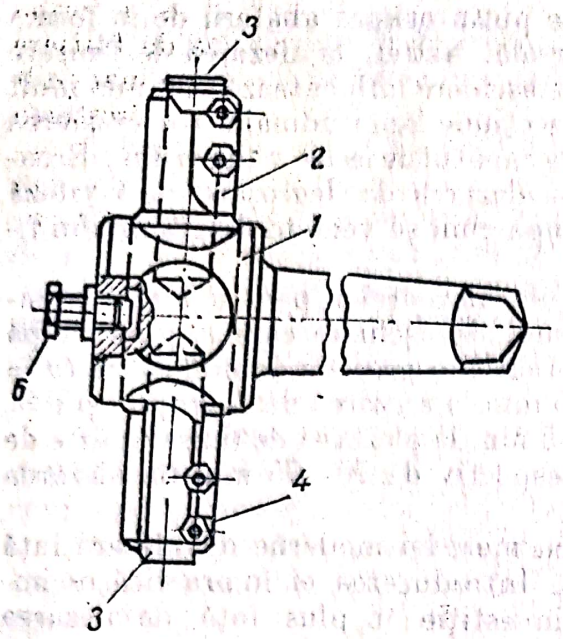


Fig. 8.4.41. Alezor pentru alezarea alezajelor de diametre mari.

Cele două alezaje perpendiculare una pe alta din corpul *1* al alezorului sînt făcute pentru ca bucşa *2* cu cuţite *3* să fie introdusă în acel alezaj a cărei axă este în direcţia în care bate corpul alezorului, introdus în alezajul conic din capul arborelui principal al maşinii. În felul acesta se creează legătura „mobilă" între arborele principal al maşinii şi cele două cuţite care aşchiază, respectiv între arborele principal al maşinii şi alezor.

Alezorul este prevăzut cu un complet de bucşe *2* de diferite lungimi, în funcţie de diametrul alezajului piesei care se prelucrează.

Lucrul cu acest alezor începe în modul următor: după ce corpul alezorului a fost fixat în alezajul conic a arborelui principal al maşinii, se controlează cu ceasul indicator bătaia acestuia. O dată stabilită bătaia, bucşa *2* se introduce în acel alezaj a cărei axă de simetrie (aşa cum s-a spus mai sus) este în direcţia bătăii. Cele două cuţite *3* se fixează în bucşa *2* la dimensiunea corespunzătoare egală cu diametrul alezajului care se prelucrează.

De asemenea, în urma unor serii întregi de experienţe şi de studii ale rezultatelor practice, s-a constatat că la prelucrarea pieselor din oţel cu un astfel de alezor se obţine o calitate a suprafeţei prelucrate mult mai bună dacă cuţitele sînt confecţionate din oţel rapid R 18, decît din carburi metalice şi se foloseşte drept lichid de răcire-ungere, emulsie 5%. În schimb, dacă piesele ce se prelucrează sînt din fontă, rezultate mult mai bune se obţin cu cuţite armate cu pastile din carburi metalice aliaj dur VK 8 şi VK4, răcirea şi ungerea făcîndu-se cu petrol.

Regimul de aşchiere care asigură obţinerea atît a unei precizii ridicate cît şi a unei calităţi superioare a suprafeţei prelucrate este următorul:

— la prelucrarea pieselor din oţel laminat, forjat sau matriţat şi oţel turnat cu cuţite armate cu pastile din oţel rapid RP 18: : $v = 5 \sim 6$ m/min; $t = 0{,}1 \sim 0{,}2$ mm şi $s = 1{,}5 \sim 3$ mm/rot;

— la prelucrarea pieselor din fontă şi bronz cu cuţite armate cu pastile din carburi metalice VK8 sau VK4: $v = 8 \sim 12$ m/min; $t = 0{,}1 \sim 0{,}2$ mm şi $s = 2 \sim 4$ mm/rot.

Se recomandă ca valorile mari să se folosească la prelucrarea pe maşini mari, iar cele mici la prelucrarea pe maşini de dimensiuni medii şi mici.

Precizia de prelucrare care se poate realiza la prelucrarea de finisare a alezajelor cu diametrul de 90—400 mm, după această metodă cu alezorul descris, este cuprinsă în clasa 7—8 de precizie, iar calitatea suprafeţei este cuprinsă în clasa 7—8 de calitate ($R_a = 3{,}2$—$1{,}6$ μm).

De asemenea şi productivitatea muncii la prelucrarea după această metodă a crescut cu 1,5—3 ori faţă de metodele vechi de prelucrare. În afară de aceasta şi timpul auxiliar se reduce de 3—4 ori faţă de cel necesar la prelucrarea prin strunjire cu un singur cuţit.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 9

PROCESE TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „CORPURI COMPLEXE"

Din punct de vedere constructiv, forma geometrică și dimensiunile pieselor incluse în această clasă sînt foarte diverse. Aici au fost incluse diversele batiuri de mașini-unelte, carcase, sănii, mese, blocurile motoarelor cu ardere internă etc.

Caracteristica de bază a acestor piese de mașini constă în aceea că au suprafețele plane relativ mari dispuse paralel, perpendicular sau sub diverse unghiuri unele față de altele și diverse alezaje de bază în care intră bucșe, lagăre, axe cu roți dințate, discuri etc. În afară de suprafețele amintite piesele din această clasă au diferite alezaje filetate pentru fixare, alezaje de ungere sau auxiliare.

Semifabricatele utilizate pentru confecționarea acestor piese sînt în general turnate sau sudate. Semifabricatele sudate sînt confecționate din table de oțel, diverse profile, elemente prelucrate prin așchiere, fie la forma finită, fie numai degroșate.

Condițiile tehnice impuse pieselor din această clasă rezultă din necesitatea de a se asigura poziția reciprocă a elementelor de mașini cu care se asamblează limitele toleranțelor impuse de proiectant.

Astfel diametrele alezajelor de bază au toleranțe cuprinse în clasa de precizie 5 ... 7. Erorile de formă geometrică (ovalitate, conicitate) nu trebuie să depășească limitele de 0,5—0,7 din cîmpul de toleranță impus dimensiunii suprafeței respective. Toleranțele distanțelor dintre axele alezajelor de bază și perpendicularitatea axelor lor se dau în funcție de destinația pe care o au piesele respective. De exemplu, pentru carcase în care se asamblează roți dințate, melci și roți melcate toleranțele amintite sînt de ordinul sutimilor de milimetru (0,04 ... 0,06 mm).

Abaterile de la paralelism și coaxialitate a axelor de simetrie a alezajelor de bază sînt cuprinse în limitele 1/2 din toleranța diametrului celui mai mic dintre alezaje.

Rugozitatea suprafeței alezajelor de bază este cuprinsă în limitele 3,2 ... 0,8 μm.

Abaterea de la perpendicularitatea suprafețelor frontale a acestor alezaje față de axele lor de simetrie poate varia între 0,1 ... 1,0 μm la 1 mm din rază, iar rugozitatea lor se dă în limitele $R_a = 6{,}3 \ldots 3{,}2$ μm.

Abaterea de la liniaritate a suprafețelor plane a pieselor din clasa „corpuri complexe" este cuprinsă în limitele a 50 ... 200 μm pe 100 mm lungime. Rugozitatea suprafețelor respective variază în limite mari, funcție de

Scanned with OKEN Scanner

rolul pe care-l are suprafaţa plană respectivă. În general rugozitatea suprafeţelor de separaţie (de asamblare) este $R_a = 6{,}3 \ldots 1{,}6$ μm.

Problemele tehnologice specifice care apar la prelucrarea pieselor din această clasă se caracterizează prin aceea că trebuie să asigure în limitele impuse: abaterile de la paralelism şi perpendicularitate a axelor de simetrie a alezajelor de bază a suprafeţelor impuse; coaxialitatea axelor de simetrie a alezajelor de bază care servesc drept lagăre sau reazeme pentru axe; distanţa dată între axele de simetrie ale diverselor alezaje; forma geometrică a suprafeţelor prelucrate etc. sau cu alte cuvinte trebuie să asigure îndeplinirea condiţiilor tehnice impuse cu un cost minim.

Una din problemele tehnologice importante care apare la prelucrarea pieselor din această clasă este alegerea corectă a bazelor tehnologice, alegere de care depinde în mare măsură îndeplinirea condiţiilor tehnice enumerate.

Bazele tehnologice trebuie alese, astfel încît baza de aşezare să se confunde cu baza de măsurare şi să se păstreze aceeaşi în toate operaţiile sau într-un număr cît mai mare posibil.

Pentru prelucrarea suprafeţelor care servesc apoi drept baze tehnologice trebuie să se ia ca primă *bază de aşezare* unul din alezajele centrale, respectiv de bază a piesei, neprelucrat, ceea ce asigură o dispunere cît mai uniformă a adaosului de prelucrare pe întreaga lui suprafaţă care urmează să se prelucreze în una din operaţiile următoare, în care se ia drept bază de aşezare una din suprafeţele prelucrate anterior pentru a cărei prelucrare a servit ca bază de aşezare alezajul respectiv.

În multe cazuri, atunci cînd configuraţia geometrică a piesei nu oferă nici o suprafaţă corespunzătoare a fi bază de aşezare, se impune a se prevedea din turnarea semifabricatului anumite bosaje, care în ultima operaţie a procesului tehnologic se îndepărtează prin aşchiere, dacă ele împiedică buna funcţionare a piesei în exploatare.

Alegerea bazelor tehnologice trebuie să fie însoţită de calculul erorii de bazare.

Tehnologia de prelucrare a pieselor din această clasă diferă de la o întreprindere la alta şi chiar în cadrul aceleiaşi întreprinderi de la o etapă de timp la alta. Acest lucru se datoreşte în mare măsură gradului de dezvoltare tehnică a întreprinderilor, caracterului producţiei (de masă, serie sau individuală), precum şi punctelor de vedere personale ale tehnologiilor.

Pe baza datelor din literatură, a experienţei diferitelor întreprinderi şi a autorului, în tabelul 9.1.1 se prezintă un proces tehnologic tipizat de prelucrare a pieselor din clasa „corpuri complexe". Procesul tehnologic respectiv este foarte *general* şi se prezintă sub formă de fişă tehnologică pentru cele trei tipuri de producţie (de masă, serie şi individuală).

Din fişa tehnologică prezentată rezultă că în primele două operaţii se prelucrează acele suprafeţe ale piesei, care servesc apoi drept baze tehnologice în operaţiile următoare, precum şi alezajele tehnologice. Se prelucrează apoi toate suprafeţele exterioare plane după care se face prelucrarea alezajelor de bază şi apoi a celorlalte alezaje. În cazul pieselor din această clasă, care au o rigiditate redusă, după prelucrarea de degroşare a tuturor celorlalte suprafeţe exterioare, se mai prelucrează încă o dată atît suprafeţele care servesc drept baze tehnologice, cît şi suprafeţele alezajelor de bază.

În foarte multe cazuri, cînd toleranţele dimensiunilor sînt mici, este raţional să se prevadă în procesul tehnologic operaţii de semifinisare.

Prelucrarea de finisare, rectificarea sau aşchierea cu scule cu muchii aşchietoare metalice, se face în aceeaşi succesiune şi anume, mai întîi prelucrarea suprafeţelor plane şi apoi a alezajelor de bază.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.1.1

FIŞA TEHNOLOGICĂ

cu procesul tehnologic tipizat pentru prelucrarea pieselor din clasa „corpuri complexe".

Nr. operaţiei	Denumirea operaţiei	Utilajul folosit în producţia de		
		Masă	Serie	Individuală
1	Prelucrarea de degroşare şi de finisare a suprafeţelor care vor servi drept baze tehnologice în operaţiile următoare.	— Maşină de broşat suprafeţe exterioare. — Agregat de frezat tip Carusel cu mai multe capete de frezat. — Maşină de frezat sau rabotat portal cu mai multe capete de lucru.	— Maşină de frezat sau de rabotat portal cu mai multe capete de lucru.	— Maşină de frezat verticală. — Maşină de rabotat.
2	Prelucrarea alezajelor tehnologice.	— Maşină de burghiat verticală sau cu braţ, cu cap multiax sau cu dispozitiv cu bucşe de conducere.	— Maşină de burghiat verticală sau cu braţ, cu dispozitiv cu placă şi bucşe de conducere.	— Maşină de burghiat verticală sau cu coloană.
3	Prelucrarea celorlalte suprafeţe plane exterioare.	— Idem ca la operaţia 1.	— Maşină de frezat portal sau de rabotat cu mai multe capete de lucru.	— Idem ca la operaţia 1.
4	Prelucrarea de degroşare şi de finisare a alezajelor de bază.	— Agregat de burghiat cu unul sau mai multe capete de burghiat sau alezat.	— Maşină de burghiat verticală sau cu braţ cu cap multiax. — Maşină de burghiat şi alezat orizontală.	— Maşină de burghiat. — Maşină de burghiat şi alezat orizontală.
5	Tratament termic de detensionare.	Obs. Tratamentul termic de detensionare se face numai la piesele cu o rigiditate mică precum şi celor cu precizie impusă foarte ridicată.		
6	Prelucrarea celorlalte alezaje.	—Agregat de burghiat cu unul sau mai multe capete de găurit.	— Maşină de burghiat cu cap multiax universal sau cu dispozitiv cu plăci cu bucşe de conducere.	— Maşină de burghiat verticală sau cu braţ.
7	Executarea filetelor în alezaje de fixare.	— Agregat de filetat cu capete multiaxe.	— Maşină de burghiat verticală cu cap multiax.	— Manual.
8	Prelucrarea de finisare respectiv de rectificare a suprafeţelor plane de bază sau a celor de îmbinare.	— Maşină de rectificat verticală. — Maşină de frezat sau de rabotat portal.	— Maşină de rectificat verticală. — Maşină de frezat verticală sau de rabotat.	— Maşină de rectificat verticală. — Maşină de frezat universală. — Maşină de rabotat.

Scanned with OKEN Scanner

În funcție de precizia semifabricatelor și de timpul de producție, prelucrarea se face fără trasaj prealabil, numai în dispozitive sau parțial (unele operații) după trasaj și în dispozitive.

Construcțiile de corpuri complexe sudate se execută fie din elemente neprelucrate mecanic în prealabil, fie din elemente care au fost prelucrate mecanic, urmînd ca după asamblarea lor prin sudare să se prelucreze în această stare la dimensiunile finite.

În primul caz piesele finite se prelucrează în aceeași succesiune a operațiilor prevăzute în fișa tehnologică cu procesul tehnologic tipizat.

Prelucrarea suprafețelor plane exterioare a pieselor din această clasă în producția de masă se face fie pe mașini de broșat, fie pe mașini de frezat cu mai multe capete de frezat și cu masă rotativă, cu avans continuu. Există astfel de mașini la care „tamburul" rotativ (masa rotativă) este așezat în poziție verticală (cu axa de rotație în poziție orizontală) pe care se pot prelucra piese cu dimensiuni de gabarit mai reduse. Pe aceste ultime două tipuri de mașini la un post de lucru se face prelucrarea de degroșare iar la al doilea prelucrarea de finisare. În producția de serie prelucrarea suprafețelor plane exterioare a pieselor din această clasă se face pe mașini de frezat sau rabotat tip portal cu mai multe capete de lucru.

Pe aceste mașini operația poate fi constituită din mai multe faze. În fiecare fază, piesele (mai multe pe masa mașinii) se fixează în diverse poziții pentru a se prelucra cîte o suprafață a lor, astfel încît într-o singură operație se pot prelucra toate suprafețele exterioare ale piesei. Proiectînd în acest mod operția de frezare, se poate folosi mai rațional suprafața utilă a mesei mașinii, precum și mașinile de frezat.

După această metodă se pot prelucra într-o operație mai multe piese diferite ca formă geometrică și dimensiuni.

În producția individuală succesiunea operațiilor rămîne aceeași prevăzută în fișa tehnologică (tabelul 9.1.1) însă utilajul folosit este universal.

În cele mai multe cazuri prelucrarea se face după trasaj, utilizarea dispozitivelor ar ridica mult costul pieselor.

Prelucrarea alezajelor de bază se poate executa pe mașini-unelte universale sau pe mașini agregat funcție de tipul de producție.

Astfel, în producția de masă și de serie mare prelucrarea acestor alezaje se face pe mașini-unelte agregat ca unul sau mai multe capete de burghiat sau de alezat. Pe astfel de mașini-unelte se poate face prelucrarea simultană a alezajelor dispuse pe două sau mai multe suprafețe ale piesei.

La prelucrarea pe mașini-unelte agregat, este rațional ca prelucrările de degroșare și de finisare să se execute în două operații diferite pe două agregate ale liniei tehnologice. De asemenea, aceste două prelucrări se pot executa și într-o singură operație cu două faze pe o mașină agregat cu masă rotativă și cu două posturi de lucru.

Alezajele de bază la piesele care au dimensiuni de gabarit mai mici (diverse carcase) pot fi prelucrate pe mașini de burghiat verticale prevăzute cu cap de burghiat multiaxe și dispozitive cu plăci și bucșe de conducere sau pe mașini de burghiat radiale cu dispozitive rotative cu plăci și bucșe de conducere.

În producția de serie alezajele de bază se execută de obicei pe mașini de găurit și alezat orizontale cu conducerea sculei prin bucșe de conducere. Alezajele se prelucrează succesiv, fiecare cu cîte o bară de alezat, funcție de diametrul alezajului. Distanța și paralelismul dintre axele de simetrie ale alezajelor se realizează prin deplasarea corespunzătoare a mesei mașinii și a saniei acesteia (pe care este fixată sania port-arborelui principal, respectiv mecanis-

Scanned with OKEN Scanner

mul de antrenare a barei de alezat). Perpendicularitatea axei de simetrie a alezajelor între ele sau față de suprafețele plane ale piesei se realizează prin rotire corespunzătoare a mesei mașinii.

În scopul măririi productivității prelucrării la lucrul pe mașini de găurit și alezat orizontale acestora li se adaptează capete multiaxe pentru prelucrarea simultană a mai multor alezaje de bază a piesei cu axele de simetrie paralele.

În toate cazurile de prelucrare cu ghidare a sculei în bucșe de ghidare pe mașini-unelte agregat și pe mașini universale de burghiat și alezat orizontale, piesele se fixează în dispozitive special construite pentru fiecare tipodimensiune de piesă, dispozitive prevăzute de obicei cu cîte două bolțuri de orientare care intră în alezajele tehnologice executate în baza de așezare a piesei pentru orientarea ei corectă în dispozitiv.

În producția individuală și de serie mică prelucrarea alezajelor de bază a pieselor din clasa „corpuri complexe" se face după trasaj pe mașini de burghiat și alezat orizontale.

În acest caz, după ce piesa a fost așezată pe masa mașinii prelucrarea alezajelor se face în următoarea succesiune a fazelor:

1 — fixarea piesei pe masa mașinii în așa fel, încît axa alezajului care se prelucrează să fie paralelă cu axa de rotație a barei de alezat;

2 — suprapunerea axei de rotație a barei de alezat și a axei de simetrie a alezajului, respectiv a piesei;

3 — prelucrarea alezajului la dimensiunea impusă;

4 — deplasarea mesei mașinii pentru dispunerea piesei față de axa de rotație a arborelui principal al mașinii în așa fel încît aceasta să fie coaxială cu axa de simetrie a alezajului care urmează a fi prelucrat;

5 — prelucrarea alezajului respectiv la dimensiunea impusă.

Perpendicularitatea axelor de simetrie ale alezajelor se realizează (cum s-a arătat mai sus) prin rotirea mesei mașinii pe care este fixată piesa.

Distanța în plan vertical între axele de simetrie ale alezajelor piesei, se realizează prin deplasarea saniei port-arbore principal a mașinii pe coloana acesteia.

Precizia distanței între axele alezajelor se realizează cu ajutorul tamburilor gradați de pe șuruburile conducătoare ale mesei mașinii și a saniei port-arbore principal, iar atunci cînd precizia impusă piesei este mare se utilizează ceasuri indicatoare.

În construcția de mașini grele se utilizează și mașini de burghiat și alezat orizontale la care masa mașinii pe care se fixează piesa este fixă și toate deplasările sculei necesare prelucrării le efectuează sania port-arbore principal, precum și acesta din urmă.

Prelucrarea pieselor grele de mașini din clasa „corpuri complexe" pe mașini de burghiat și alezat orizontale cu masa mașinii fixă este foarte neproductivă. Timpul consumat cu reglarea mașinii variază între 60 ...80% din timpul de lucru pe bucată.

De fiecare dată, la trecerea de la prelucrarea unui alezaj la altul, trebuie să se verifice coaxialitatea și paralelismul axei de simetrie a alezajului cu a arborelui principal al mașinii în care se fixează bara de alezat, precum și coaxialitatea acesteia cu a alezajului bucșei de conducere din coloana de reazem a mașinii. Perpendicularitatea axelor de simetrie ale alezajelor între ele sau față de suprafețele plane ale piesei se realizează prin desprinderea piesei și fixarea ei pe masa mașinii în poziția corespunzătoare față de axa de rotație a arborelui principal al mașinii.

Scanned with OKEN Scanner

Prelucrarea alezajelor acestor piese nu se mai divide în operații de degroșare și de finisare, ci într-o singură așezare a piesei se execută și prelucrarea de degroșare și cea de finisare a alezajului respectiv, după care se trece la prelucrarea unui alt alezaj într-o altă poziție.

Alezajele de bază în piesele de dimensiuni mari executate în serii de cîteva bucăți se pot prelucra simultan (cele cu axele paralele) adoptînd la mașina de burghiat și alezat orizontală un cap de burghiat reglabil, fixat pe masa fixă a mașinii în fața piesei. Barele de alezat se pot rezema într-un suport universal cu bucșe de conducere fixat pe coloana de reazem a mașinii.

Prelucrarea celorlalte alezaje (respectiv a alezajelor de fixare etc.) se execută pe mașini agregat cu unul sau mai multe capete de burghiat multiaxe, în linii tehnologice automate sau în flux continuu, pe mașini de burghiat verticale sau radiale cu dispozitive fixe sau rotative cu plăci și bucșe de conducere, funcție de tipul de producție, respectiv de mărimea lotului sau seriei de piese.

În producția de serie mică și individuală atît prelucrarea alezajelor de bază cît și a celorlalte alezaje se poate executa pe mașini de burghiat și alezat verticale în coordonate, prevăzute cu sisteme de comandă după program numeric sau pe mașini clasice de burghiat și alezat în coordonate, atunci cînd precizia impusă piesei respective este ridicată. În cazul utilizării mașinilor cu sisteme de comandă după program numeric se oferă o serie de avantaje economice.

9.1. SCHEME ȘI METODE DE PRELUCRARE A ALEZAJELOR DE BAZĂ ÎN PIESELE DIN CLASA „CORPURI COMPLEXE"

În producția de serie mică și individuală se aplică pe scară largă două metode de prelucrare ale alezajelor de bază la piesele din clasa „corpuri complexe" pe mașinile de găurit și alezat orizontale: alezarea cu bara de alezat în consolă și cu bara de alezat rezemată la capătul liber. La ambele metode avansul poate fi efectuat fie de masa mașinii împreună cu piesa fixată pe ea, fie de arborele principal al mașinii împreună cu bara de alezat.

După prima metodă de prelucrare se face alezarea alezajelor dispuse în pereții exteriori sau interiori, însă foarte apropiată de primii. Alezarea se face cu bara de alezat cu rigiditate ridicată.

În figura 9.1.1 sînt prezentate cîteva scheme de prelucrare pe mașini de burghiat și alezat orizontale.

Astfel după schema din figura 9.1.1, *a* se prelucrează două alezaje dispuse în pereți apropiați, cu aceeași axă de simetrie. Bara de alezat este fixată în consolă în arborele principal al mașinii. Lungimea în consolă a barei de alezat rămîne constantă în timpul prelucrării, avansul de lucru fiind executat de masa mașinii pe care este fixată piesa. Săgeata la capătul liber al barei de alezat rămîne constantă în timpul prelucrării ambelor alezaje, adică adaosul de prelucrare este dispus uniform pe suprafața care se prelucrează. Axa de simetrie a arborelui principal al mașinii este coaxială cu a alezajelor piesei dacă ghidajele batiului mașinii sînt rectilinii.

Prelucrarea după această schemă de principiu este rațională în cazul alezajelor individuale cu lungime relativ mică sau al cîtorva alezaje scurte coaxiale.

Schemele din figura 9.1.1, *b* se deosebesc de precedenta prin aceea că prelucrarea primului alezaj (din peretele exterior al piesei) se face cu o bară de alezat mai scurtă, iar cel de-al doilea alezaj coaxial cu primul se face cu o bară de alezat mai lungă. Condițiile de prelucrare a primului alezaj sînt mult

Scanned with OKEN Scanner

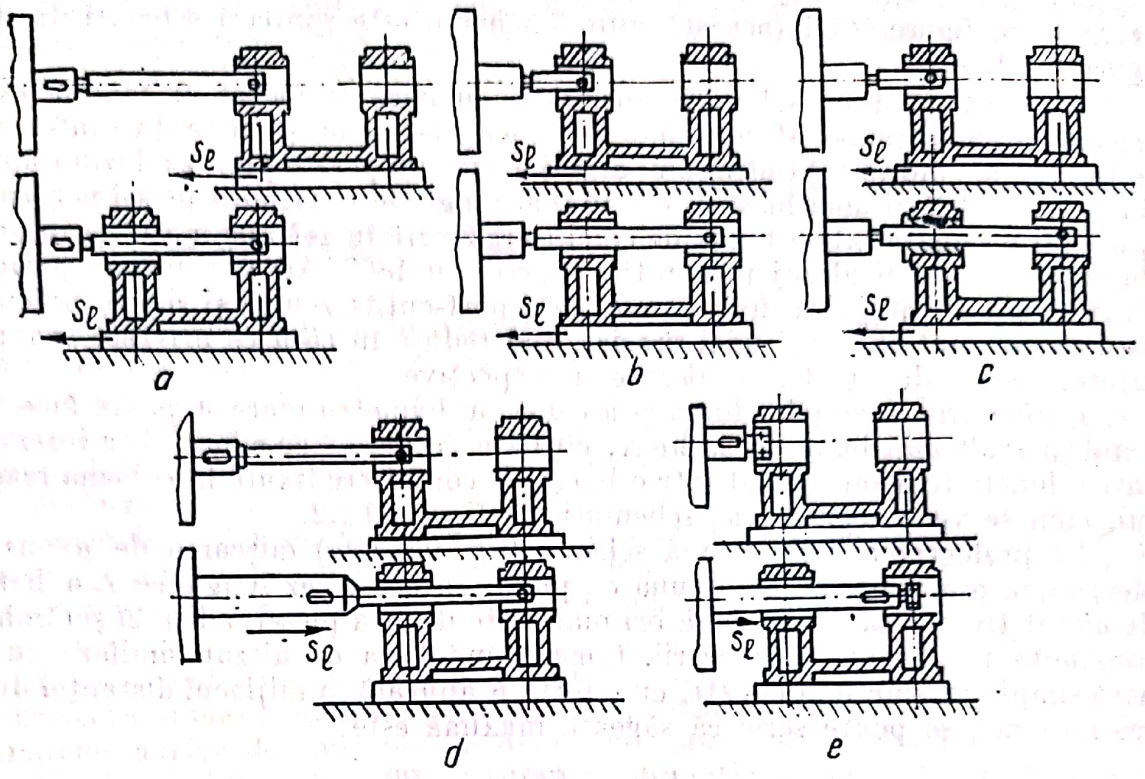


Fig. 9.1.1. Scheme de alezare pe mașini de burghiat și alezat orizontale.

mai favorabile decît a celui corespunzător din figura 9.1.1, *a*. Al doilea alezaj în ambele cazuri se prelucrează în condiții similare. Rezultă deci că prelucrarea după schema a doua este mai rațională decît după prima schemă.

Schema a treia (fig. 9.1.1, *c*) se deosebește de a doua numai prin aceea că la prelucrarea alezajului al doilea bara lungă de alezat este condusă printr-o bucșă de conducere fixată în primul alezaj prelucrat în prealabil. Acest lucru mărește întrucîtva rigiditatea barei de alezat și permite a se face prelucrarea cu un regim de așchiere mai intens. Prelucrarea după această schemă este mai rațională în cazul mai multor alezaje coaxiale.

Prelucrarea după schema a patra și a cincea se face pe mașini de burghiat și alezat orizontale la care mișcarea de avans o efectuează arborele principal cu bara de alezat.

În primul din aceste două cazuri (schema din fig. 9.1.1, *d*) ambele alezaje coaxiale se prelucrează cu aceeași bară de alezat. Deoarece avansul de lucru se execută de sculă, săgeata la capătul barei de alezat crește continuu datorită creșterii distanței de la muchia așchietoare la secțiunea de încastrare a arborelui principal al mașinii. Datorită acestui lucru adîncimea de așchiere se micșorează tot mereu și diametrul alezajului descrește continuu, obținîndu-se o suprafață conică. Condițiile de așchiere pot fi puțin îmbunătățite la prelucrarea primului alezaj dacă se folosește o bară de alezat mai scurtă decît cea cu care se face prelucrarea celui de-al doilea alezaj.

Condițiile de așchiere se îmbunătățesc și mai mult dacă diametrul alezajelor este mai mare decît diametrul arborelui principal al mașinii. În acest caz prelucrarea poate avea loc după cea de-a cincea schemă (fig. 9.1.1, *e*), cînd atît pentru prelucrarea primului alezaj, cît și pentru a celui de al doilea se utilizează o bară de alezat foarte scurtă. Condițiile de așchiere la prelucrarea celui de-al doilea alezaj pot fi îmbunătățite dacă în primul alezaj după prelucrarea lui se introduce o bucșă de conducere pentru arborele principal al mașinii. În acest caz se obține o schemă de prelucrare în plus față de cele cinci pre-

Scanned with OKEN Scanner

zentate în figura 9.1.1 (această ultimă schemă este similară schemei din figura 9.1.1, *c*).

Prelucrarea după schemele analizate, cu bare de alezat în consolă este recomandabilă numai atunci cînd lungimea alezajelor şi distanţa dintre ele este mică şi cînd în faţa ultimului alezaj există un perete plin, excluzînd posibilitatea utilizării unei bare de alezat mai lungă decît lăţimea piesei pentru a putea fi rezemată într-o bucşă de conducere fixată în coloana maşinii sau prelucrarea ultimului alezaj prin rotirea mesei cu 180°. Această ultimă posibilitate oferă avantajul utilizării unor bare port-cuţite scurte şi rigide, precum şi dezavantajul obţinerii unei precizii mai reduse în ceea ce priveşte coaxialitatea axelor de simetrie a alezajelor respective.

Prelucrarea alezajelor lungi şi a celor cu diametru mare se poate face în condiţii mult mai bune de aşchiere, cu bare de alezat cu capul liber rezemat într-o lunetă fixă sau ghidat într-o bucşă de conducere fixată în coloana maşinii, cum se vede reprezentat schematic în figura 9.1.2.

La prelucrarea după prima schemă (fig. 9.1.2, *a*) mişcarea de avans o efectuează masa maşinii împreună cu piesa. În acest caz lungimea L a barei de alezat trebuie să fie de două ori mai mare decît a piesei, adică $2l$ şi rămîne constantă tot timpul prelucrării. Considerînd bara de alezat similară cu o bară simplă rezemată la capete, cu o forţă F aplicată la mijlocul distanţei dintre reazeme, se poate scrie că săgeata maximă este:

$$y_1 = \frac{Fl^3}{48EI} = \frac{F(2l)^3}{48EI} = \frac{Fl^3}{6EI}. \qquad (9.1.1)$$

La prelucrarea după prima schemă, la care bara de alezat poate fi considerată ca o bară încastrată la un capăt, săgeata acesteia este:

$$y_2 = \frac{Fl^3}{3EI}, \qquad (9.1.2)$$

în care l este lungimea în consolă a barei de alezat.

Dacă se compară săgeţile celor două bare de alezat, rezultă că săgeata barei fixată în consolă este de două ori mai mare decît a celei cu capul al doilea rezemat şi deci, prelucrarea se poate face cu un regim de aşchiere mai intens.

La prelucrarea după schema a doua (fig. 9.1.2, *b*) mişcarea de avans o efectuează bara de alezat, distanţa dintre cele două reazeme ale ei fiind numai cu puţin mai mare decît lungimea piesei.

În acest caz săgeata maximă a barei port-cuţit este egală cu $y_3 = \frac{Fl^3}{48EI}$, adică de 16 ori mai mică decît y_2 şi de 8 ori mai mică decît y_1. Rezultă deci, că prelucrarea după această schemă se poate face cu un regim de aşchiere şi

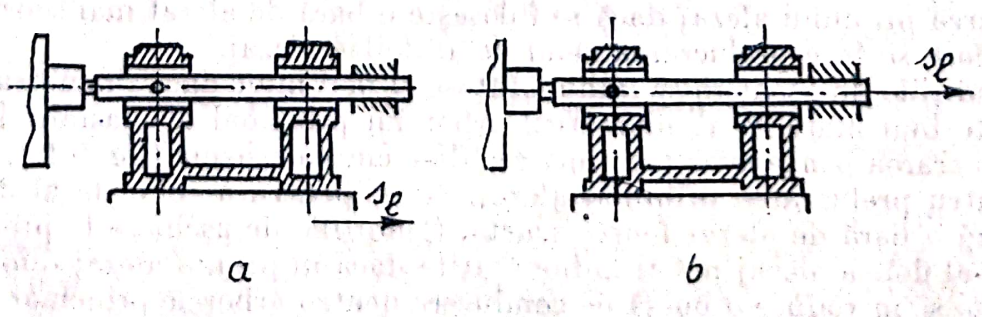


Fig. 9.1.2. Scheme de alezare cu bare de alezat ghidate.

Scanned with OKEN Scanner

mai intens decît în cazul precedent. În afară de aceasta și precizia de prelucrare este mai mare, dată fiind rigiditatea sistemului tehnologic mult mai ridicată decît în toate celelalte cazuri.

9.2. PRELUCRAREA ALEZAJELOR PE MAȘINI DE BURGHIAT ȘI ALEZAT ÎN COORDONATE

Prelucrarea alezajelor de bază în piesele din clasa „corpuri complexe" pe mașini de burghiat și alezat în coordonate (fig. 9.2.1) prezintă avantajul că se exclude necesitatea trasajului sau a utilizării dispozitivelor cu bucșe de conducere sau a șabloanelor. Prelucrarea pe aceste mașini este însă foarte costisitoare datorită timpului auxiliar mare consumat cu reglarea mașinii în vederea prelucrării.

Mașinile de burghiat și alezat în coordonate se utilizează numai în producția de unicate, în general în sculării, pentru prelucrarea pieselor cu găuri ale căror axe de simetrie sînt dispuse în poziții îngrădite de toleranțe pînă la $\pm$ 0,005 mm.

Considerînd cunoscută schema cinematică a mașinii se prezintă în cele ce urmează numai metodica de pregătire a lucrului, respectiv de calcul al coordonatelor axelor de simetrie ale diverselor găuri care trebuie prelucrate în funcție de dimensiunile de pe desenul de execuție a piesei. De asemenea se prezintă și modul de reglare a mașinii în vederea efectuării prelucrării.

Coordonatele axelor de simetrie a alezajelor care trebuie prelucrate se determină fie în sistemul rectangular, fie în cel polar de coordonate.

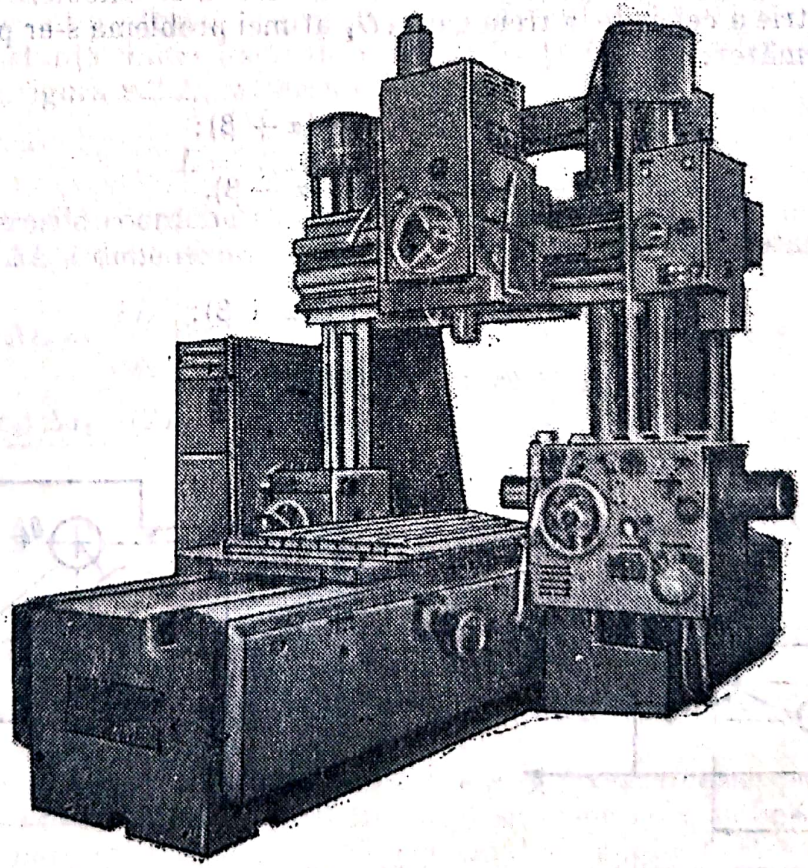


Fig. 9.2.1. Mașină de burghiat și alezat în coordonate.

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece maşina poate executa numai două mişcări în planul orizontal (mişcarea mesei în direcţie longitudinală şi mişcarea transversală, perpendiculară de prima, a capătului port-sculă) pentru a se putea prelucra toate alezajele de pe aceeaşi faţă a piesei atunci cînd pe desenul ei de execuţie nu sînt date coordonatele axelor de simetrie ale tuturor alezajelor de la aceeaşi origine, tehnologul sau muncitorul de la maşină trebuie ca, funcţie de dimensiunile date pe desen, să calculeze coordonatele necunoscute, astfel ca executînd cu maşina cele două mişcări posibile să poată realiza dimensiunile impuse. Pentru acest lucru va trebui să-şi întocmească fie un tabel cu valorile coordonatelor respective, fie o schiţă cu dispunerea corespunzătoare a cotelor.

Fie astfel, de exemplu, cunoscute distanţa O_2O_3 şi coordonatele x_2, y_2 şi y_3 ale axelor de simetrie a celor două alezaje ale piesei înscrise într-un sistem de axe rectangulare (fig. 9.2.2). Drept origine a sistemului de coordonate se alege de obicei acel punct care se poate găsi uşor pe piesă şi anume, centrul unui bosaj sau al unui alezaj, punctul de intersecţie a două muchii etc. În cazul examinat s-a luat drept origine a sistemului de coordonate unul din colţurile piesei notat cu O_1. Pentru a se determina abscisa x_3, se vede din figura prezentată că:

$$x_3 - x_2 = \sqrt{\overline{O_2O_3}^2 - (y_3 - y_2)^2}, \tag{9.2.1}$$

de unde rezultă

$$x_3 = x_2 + \sqrt{\overline{O_2O_3}^2 - (y_3 - y_2)^2}. \tag{9.2.2}$$

Dacă la o piesă s-ar da distanţele dintre axele de simetrie a trei alezaje O_3O_4 şi O_4O_2, precum şi coordonatele a două dintre ele şi anume ale axelor O_2 şi O_3, deci x_2, y_2 şi x_3, y_3 (fig. 9.2.3) şi trebuie să se calculeze coordonatele axei de simetrie a celei de a treia găuri O_4 atunci problema s-ar putea rezolva în modul următor:

$$x_3 - x_4 = \overline{O_3O_4} \cos(\alpha + \beta); \tag{9.2.3}$$

$$y_4 - y_3 = \overline{O_3O_4} \sin(\alpha + \beta). \tag{9.2.4}$$

Coordonatele căutate vor fi:

$$x_4 = x_3 - \overline{O_3O_4} \cos(\alpha + \beta); \tag{9.2.5}$$

$$y_4 = y_3 + \overline{O_3O_4} \sin(\alpha + \beta). \tag{9.2.6}$$

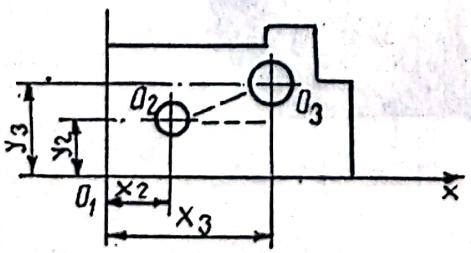


Fig. 9.2.2. Înscrierea piesei într-un sistem de axe rectangulare.

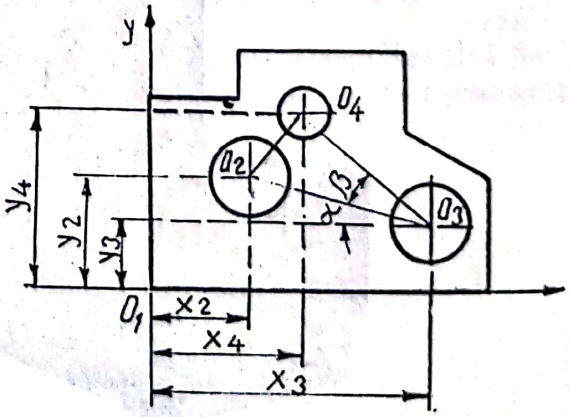


Fig. 9.2.3. Piesă cu trei alezaje înscrisă într-un sistem de axe rectangulare.

Scanned with OKEN Scanner

Unghiurile α și β se determină din relațiile:

$$y_2 - y_3 = \overline{O_2O_3} \sin \alpha; \tag{9.2.7}$$

$$\sin \alpha = \frac{y_2 - y_3}{O_2O_3}. \tag{9.2.8}$$

de unde:

$$\alpha = \text{arc sin} \frac{y_2 - y_3}{O_2O_3}. \tag{9.2.9}$$

Unghiul β se determină din triunghiul $O_2O_3O_4$, în care:

$$\overline{O_2O_4^2} = \overline{O_2O_3^2} + \overline{O_3O_4^2} - 2\overline{O_2O_3} \cdot \overline{O_3O_4} \cos \beta. \tag{9.2.10}$$

Rezultă:

$$\cos \beta = \frac{\overline{O_2O_3^2} + \overline{O_3O_4^2} - \overline{O_2O_4^2}}{2\overline{O_2O_3} \cdot \overline{O_3O_4}}; \tag{9.2.11}$$

$$\beta = \text{arc cos} \frac{\overline{O_2O_3^2} + \overline{O_3O_4^2} - \overline{O_2O_4^2}}{2\overline{O_2O_3} \cdot \overline{O_3O_4}}. \tag{9.2.12}$$

Atunci cînd precizia impusă este mare, trebuie să se folosească tabelele de logaritmi cu șapte zecimale, iar valoarea unghiurilor să se determine cu o precizie de secunde de grad. Procedînd în acest fel se obțin rezultate cu o precizie de microni de milimetru.

Erorile de calcul sau cele de prelucrare ale coordonatelor axelor de simetrie a găurilor influențează asupra preciziei distanței dintre ele. Dacă se notează cu L distanța dintre axele de simetrie O_2 și O_3 ale celor două alezaje din piesa din figura 9.2.2, valoarea ei este:

$$L = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}. \tag{9.2.13}$$

Notînd erorile coordonatelor celor două axe de simetrie cu Δx_2, Δy_2 și Δy_3, eroarea ΔL a dimensiunii L va fi:

$$\Delta L = \frac{\partial L}{\partial x_2} \Delta x_2 + \frac{\partial L}{\partial x_3} \Delta x_3 + \frac{\partial L}{\partial y_2} \Delta y_2 + \frac{\partial L}{\partial y_3} \Delta y_3 =$$

$$= \frac{(-2x_3 + 2x_2)\,\Delta x_2 + (2x_3 - 2x_2)\,\Delta x_3 + (-2y_3 + 2y_2)\,\Delta y_2 + (2y_3 - 2y_2)\,\Delta y_3}{2\sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}} =$$

$$= \frac{(x_2 - x_3)\,\Delta x_2 + (x_3 - x_2)\,\Delta x_3 + (y_2 - y_3)\,\Delta y_2 + (y_3 - y_2)\,\Delta y_3}{L}. \tag{9.2.14}$$

O etapă importantă a lucrului pe mașinile de burghiat și alezat în coordonate, după calculul coordonatelor fiecărui alezaj care urmează a se prelucra, o constituie fixarea piesei pe mașină și reglarea mașinii în vederea prelucrării piesei.

Piesele care au formă de sănii sau carcase se fixează direct pe masa mașinii. Verificarea modului cum a fost fixată piesa respectivă se face cu ajutorul unui ceas comparator fixat în arborele principal al capului port-scule. Se apropie de una din suprafețele plane ale piesei palpatorul ceasului comparator, se

Scanned with OKEN Scanner

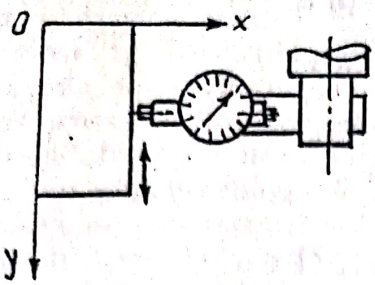


Fig. 9.2.4. Schemă pentru reglarea la dimensiune cu ajutorul ceasului comparator.

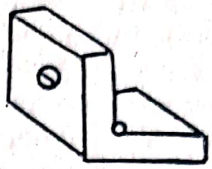


Fig. 9.2.5. Echer pentru reglarea la dimensiune a mașinii.

fixează cadranul la zero și se deplasează fie masa mașinii în raport cu ceasul comparator, fie capul port-scule (pe care este fixat ceasul comparator) în raport cu piesa, încadrată în sistemul rectangular de coordonate (fig. 9.2.4) În ambele cazuri acul indicator al ceasului comparator trebuie să rămînă în poziția zero.

Urmează apoi stabilirea originii sistemului de coordonate inițial. Dacă se ia cazul reprezentat în figura 9.2.4, în care drept origine a sistemului de coordonate s-a ales punctul de intersecție a două muchii ale piesei perpendiculare una pe cealaltă, acest punct trebuie adus pe axa de rotație a arborelui principal al capului port-scule. Pentru acest lucru se folosește un echer, ca cel reprezentat în figura 9.2.5, prevăzut cu un riz. Echerul se așază mai întîi pe una din muchiile piesei, de exemplu pe cea dispusă pe axa Ox (fig. 9.2.4) asupra căreia se apasă. Deplasînd ușor masa mașinii sau sania capului port-sculă se caută ca rizul de pe echerul așezat pe piesă să se găsească între cele două linii paralele ale microscopului fixat pe arborele principal al capului port-scule. După aceea, se așază echerul pe a doua muchie a piesei (cea dispusă pe axa Oy) perpendiculară pe prima și se repetă același lucru.

Odată dispus punctul respectiv pe axa de rotație a arborelui principal al capului port-scule se fixează la „zero" tamburul gradat pe de șuruburile conducătoare ale mesei mașinii și a saniei capului port-scule, notîndu-se de asemenea gradațiile de pe linialele gradate, respectiv ale mesei și saniei. Se deplasează apoi masa mașinii și sania capului port-scule cu valorile coordonatelor calculate anterior pentru primul alezaj al piesei.

Dacă se alege drept origine a sistemului de coordonate axa de simetrie a unui alezaj sau a unui cep, piesa se fixează pe masa rotativă a mașinii.

Mai întîi se suprapune axa de rotație a mesei rotative peste axa de rotație a arborelui principal al capului port-scule. Piesa se centrează față de aceasta din urmă cu ajutorul ceasului comparator. Centrarea după un cep este reprezentată în figura 9.2.6 *a*, iar după un alezaj în figura 9.2.6, *b*.

9.3. PRELUCRAREA ALEZAJELOR ÎN PIESE FIXATE ÎN DISPOZITIVE CU BUCȘE DE CONDUCERE

Dimensiunile care definesc pozițiile alezajelor executate în piese fixate în dispozitive cu bucșe de conducere, pe agregate cu capete multiaxe pe mașini de burghiat cu coloană, cu braț sau pe mașini de burghiat și alezat orizontale, pot fi afectate de erori provocate de următorii factori:

1 — înclinarea burghiului în bucșa de conducere în timpul așchierii datorită jocului dintre burghiu și bucșa fixată în placa de susținere sau pereții dis-

Scanned with OKEN Scanner

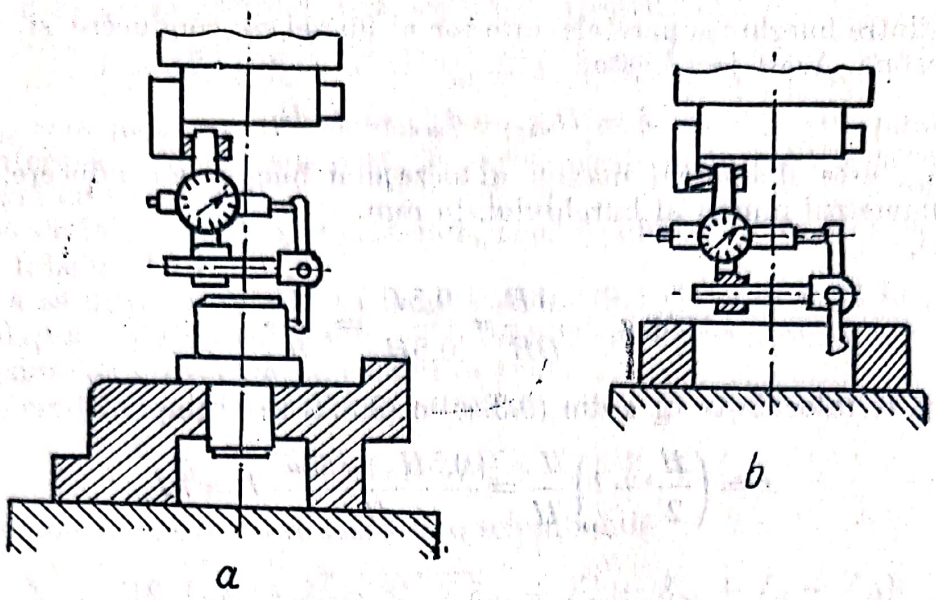


Fig. 9.2.6. Scheme de reglaj la mașini de găurit și alezat în coordonate.

pozitivului. Atunci cînd bucșa de conducere este schimbabilă se mai adaugă și jocul dintre suprafața exterioară a bucșei și locașul ei;

2 — excentricitatea axei de simetrie a găurii bucșei de conducere față de cea a suprafeței exterioare a ei;

3 — eroarea dimensiunii care definește poziția axei de simetrie a găurii din placa de susținere a dispozitivului în care se fixează bucșa de conducere, față de baza de control;

4 — deformația termică a plăcii cu bucșele de conducere;

5 — eroarea de bazare a piesei în dispozitiv.

Pentru a se putea calcula precizia dimensiunilor care definesc pozițiile găurilor executate, trebuie să se determine cîmpul de dispersie a dimensiunilor provocat de fiecare din factorii enumerați mai sus.

1 — Cîmpul de dispersie a dimensiunii provocat de primul factor se notează cu Δ_{ib} și este egal după cum se vede în figura 9.3.1:

$$\Delta_{ib} = 2x \qquad (9.3.1)$$

Valoarea lui x este:

$$x = \left(\frac{H}{2} + l\right) \operatorname{tg} \alpha, \qquad (9.3.2)$$

unde H este grosimea plăcii de susținere a dispozitivului în care se fixează bucșa de conducere, în mm; l — distanța dintre piesa în care se execută alezajul și placa dispozitivului. Această distanță se ia egală cu $0{,}3\,d$ sau nu mai mică de 0,5 mm (d fiind diametrul burghiului); α — unghiul de înclinație al axei de simetrie a burghiului față de axa de simetrie a alezajului bucșei de conducere. Valoarea unghiului α este funcție de mărimea

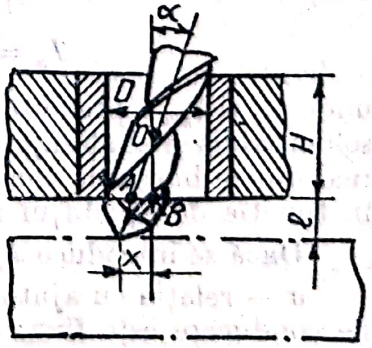


Fig. 9.3.1. Înclinarea burghiului în bucșa de conducere.

jocului dintre burghiu și peretele interior al bucșei de conducere și de grosimea acesteia. Acest joc J este:

$$J = D_{max} - d_{min} = 2AB, \tag{9.3.3}$$

unde D_{max} este diametrul maxim al alezajului bucșei de conducere, în mm; d_{min} — diametrul minim al burghiului, în mm.

Deci,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{OB} = \frac{0{,}5J}{0{,}5H} = \frac{J}{H}. \tag{9.3.4}$$

Dacă se înlocuiește tg α din (9.3.4) în (9.3.2) se obține:

$$x = \left(\frac{H}{2} + l\right)\frac{J}{H} = \frac{0{,}5H + 0{,}3d}{H} J = kJ, \tag{9.3.5}$$

unde

$$k = \frac{0{,}5H + 0{,}3d}{H}. \tag{9.3.6}$$

Cîmpul de dispersie al dimensiunilor provocat de primul factor este:

$$\Delta_{ib} = 2KJ. \tag{9.3.7}$$

Jocul J dintre burghiu și bucșă se determină cu relația:

$$J = J_a + J_u, \tag{9.3.8}$$

unde J_a este jocul dintre burghiu și bucșă funcție de valoarea ajustajului ales; J_u — jocul maxim admis dintre burghiu și bucșă provocat de uzura acestora, a cărei valoare se ia egală cu 0,02 mm.

Avînd în vedere că atît diametrul burghiului cît și al alezajului bucșei are un cîmp de toleranță δ și că valorile lor reale se găsesc undeva în limitele cîmpurilor de toleranță, după legea normală de dispersare a dimensiunilor, valorea jocului J_a într-o bucșă de conducere se poate determina după relația:

$$J_a = \sqrt{\delta_b^2 + \delta_g^2} + Z_a, \tag{9.3.9}$$

unde δ_b și δ_g reprezintă toleranțele la diametrul burghiului și al alezajului bucșei în mm; Z_a — mărimea jocului real dintre burghiu și bucșă, funcție de felul ajustajului ales.

Atunci cînd se folosește o bucșă de conducere schimbabilă, introdusă într-o bucșă intermediară fixă, relația (9.3.9) devine:

$$J_a = \sqrt{\delta_b^2 + \delta_g^2 + \delta_{bs} + \delta_{gbs}} + Z_a + Z_{bs}, \tag{9.3.10}$$

unde δ_{bs} și δ_{gbs} reprezintă toleranțele la diametrul exterior al bucșei de conducere schimbabilă și al alezajului bucșei intermediare, în mm; Z_{bs} — mărimea jocului real dintre bucșa de conducere schimbabilă și gaura bucșei intermediare fixă, în funcție de ajustajul ales, în mm.

Dacă se introduce J_a din (9.3.9) și (9.3.10) în (9.3.8) se obțin două relații:

a — relația cu ajutorul căreia se determină mărimea jocului J cînd bucșa de conducere este fixă:

$$J = \sqrt{\delta_b^2 + \delta_g^2} + Z_a + J_u. \tag{9.3.11}$$

Scanned with OKEN Scanner

b — cînd bucșa de conducere este schimbabilă:

$$J = \sqrt{\delta_b^2 + \delta_g^2 + \delta_{bs}^2 + \delta_{gbs}} + Z_a + Z_{bs} + J_u + J_{ub}, \qquad (9.3.12)$$

unde J_{ub} este jocul maxim admis dintre bucșa de conducere schimbabilă și bucșa intermediară fixă provocat de uzura acestora, în mm, a cărei valoare se ia egală cu 0,02 mm.

Valorile lui δ_b, δ_g, Z_a și Z_{bs}, în mm, pentru diferite feluri de ajustaje sînt date în tabelul 9.3.1.

Dacă se introduce valoarea jocului J din (9.3.11) și (9.3.12) în (9.3.7), se obțin relațiile cu ajutorul cărora se determină mărimea cîmpului de dispersie a dimensiunilor provocate de primul factor:

a — cînd bucșa de conducere este fixă:

$$\Delta_{ib} = 2KJ = 2K\,(\sqrt{\delta_b^2 + \delta_g^2} + Z_a + J_u), \qquad (9.3.13)$$

b — cînd bucșa de conducere este schimbabilă:

$$\Delta_{ib} = 2K\,(\sqrt{\delta_b^2 + \delta_g^2 + \delta_{bs}^2 + \delta_{gbs}} + Z_a + Z_{bs} + J_u + J_{ub}). \qquad (9.3.14)$$

Tabelul 9.3.1

Valorile toleranțelor burghiului și alezajului și ale jocurilor pentru diferite ajustaje

Diametrul nominal al burghiului	Toleranța burghiului, δ_b	Felul ajustajului					
		X		*D*		*C*	
		δ_g	$Z_a(Z_{b,s})$	δ_g	$Z_a(Z_{b,s})$	δ_g	$Z_a(Z_{b,s})$
pînă la 3	—0,02	0,014	0,008	0,010	0,003	0,010	0
de la 3 la 6	—0,03	0,017	0,01	0,013	0,004	0,013	0
de la 6 la 10	—0,03	0,020	0,013	0,016	0,005	0,016	0
de la 10 la 18	—0,04	0,024	0,016	0,019	0,006	0,019	0
de la 18 la 30	—0,05	0,030	0,020	0,022	0,008	0,023	0

2 — Cîmpul de dispersie al erorilor provocate de-al doilea factor (excentricitatea axei de simetrie a alezajului bucșei dec onducere față de suprafața ei exterioară) este:

a — pentru bucșe de conducere fixe:

$$\Delta e = 2e. \qquad (9.3.15)$$

b — pentru bucșe de conducere schimbabile:

$$\Delta e = \sqrt{(2e_1)^2 + (2e_2)^2} \cong 2{,}8e, \qquad (9.3.16)$$

unde e este excentricitatea axei de simetrie a alezajului bucșelor față de a suprafeței lor exterioare.

Valoarea excentricității e se ia egală cu 0,0025 mm și dacă se introduce în relațiile (9.3.15) și (9.3.16) se obține:

a — pentru bucșa de conducere fixă:

$$\Delta e = 0{,}005 \text{ mm}. \qquad (9.3.17)$$

b — pentru bucșe de conducere schimbabilă:

$$\Delta e = 0{,}007 \text{ mm}. \qquad (9.3.18)$$

Scanned with OKEN Scanner

3 — Cîmpul de dispersie Δ_{cd} a dimensiunii care definește poziția axei de simetrie a găurii din placa de susținere față de baza de control se ia egal cu cîmpul de toleranță a acestei dimensiuni. Pentru găuri cu diametrul pînă la 30 mm se ia egal cu 0,02 mm.

4 — Cîmpul de dispersie al dimensiunii provocat de variația deformației termice a plăcii de susținere în timpul lucrului se determină după relația:

$$\Delta_T = L \alpha \Delta t, \tag{9.3.19}$$

unde L este distanța de la axa de simetrie a găurii bucșei de conducere pînă la baza de control a dispozitivului, în mm; α — coeficientul de dilatare liniară a materialului din care este confecționată placa de susținere, în mm/grad, pentru oțel $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-6}$; Δt — limitele de variație ale temperaturii plăcii de susținere în timpul prelucrării lotului de piese. Valoarea lui Δt se ia egală cu 20°C.

Înlocuind valorile lui α și Δt în relația (9.3.19) se obține:

$$\Delta_T = 0{,}000024\ L. \tag{9.3.20}$$

Avînd în vedere valoarea foarte mică a acestui cîmp de dispersie, influența lui se poate neglija.

5 — Mărimea cîmpului de dispersie al dimensiunii Δ_b provocat de eroarea de bazare se ia egală cu mărimea acestei erori.

Cîmpul de dispersie total al dimensiunii care definește poziția axei de simetrie a alezajului față de baza de control, dispersie provocată de acțiunea comună a tuturor factorilor analizați, se determină după relația:

$$\Delta = 0{,}9 \sqrt{k^2(J_a - Z_a)^2 + \Delta_{cd}^2 + \Delta_\varepsilon^2 + \Delta_T^2} + k(Z_a + J_u), \tag{9.3.21}$$

pentru cazul cînd bucșa de conducere este fixă, iar atunci cînd bucșa de conducere este schimbabilă cîmpul de dispersie total este:

$$\Delta = 0{,}9 \sqrt{k^2(J_a + Z_a - Z_{bs})^2 + \Delta_{cd}^2 + \Delta_\varepsilon^2 + \Delta_T^2} + k(Z_a + Z_{bs} + J_u + J_{ub}). \tag{9.3.22}$$

Precizia dimensiunii care definește distanța dintre *axele de simetrie a două alezaje* (executate de asemenea prin burghiere în dispozitive cu bucșe de conducere) este influențată de aceiași factori ca mai sus, cu excepția erorii de bazare.

Dispersarea dimensiunilor respective se determină în modul următor:

1 — Cîmpul de dispersie provocat de înclinarea burghiului în bucșa de conducere Δ_{ib} se calculează cu relația:

$$\Delta_{ib} = k_1 J_1 + k_2 J_2, \tag{9.3.23}$$

în care

$$k_1 = \frac{2(0{,}5H_1 + 0{,}3d_1 + H_{g1})}{H}; \tag{9.3.24}$$

$$k_2 = \frac{2(0{,}5H_2 + 0{,}3d_2 + H_{g2})}{H}, \tag{9.3.25}$$

unde H_1 și H_2 reprezintă lungimea primei, respectiv a celei de a doua bucșe de conducere: d_1 și d_2 — diametrele burghielor; H_{g1} și H_{g2} — adîncimea primului, respectiv a celui de-al doilea alezaj burghiat.

Scanned with OKEN Scanner

Valorile J_1 și J_2 atunci cînd bucșele de conducere sînt fixe în placa de susținere sau în peretele dispozitivului, se determină cu relațiile:

$$J_1 = J_{a_1} + J_u; \tag{9.3.26}$$

$$J_2 = J_{a_2} + J_u, \tag{9.3.27}$$

în care J_{a_1} și J_{a_2} reprezintă jocurile dintre burghiul unu, respectiv burghiul doi și bucșele lor.

Valorile J_{a_1} și J_{a_2} în bucșele de conducere fixe se calculează cu relațiile:

$$J_{a_1} = \sqrt{\delta_{b_1}^2 + \delta_{g_1}^2} + Z_{a_1}; \tag{9.3.28}$$

$$J_{a_2} = \sqrt{\delta_{b_2}^2 + \delta_{g_2}^2} + Z_{a2}, \tag{9.3.29}$$

în care δ_{b1}, δ_{b2}, δ_{g1}, δ_{g2} reprezintă toleranțele la diametrul burghiului unu și doi, respectiv la diametrul alezajului bucșei de conducere unu respectiv doi; Z_{a1} și Z_{a2} — mărimea jocului real dintre burghiul unu, respectiv burghiul doi și bucșele lor în funcție de felul ajustajului ales.

Cînd se folosesc bucșe de conducere schimbabile introduse în bucșe fixe în placa de susținere sau peretele dispozitivului, relațiile (9.3.28) și (9.3.29) capătă forma:

$$J_{a1} = \sqrt{\delta_{b_1}^2 + \delta_{g_1}^1 + \delta_{eb_1}^2 + \delta_{ibf_1}^2} + Z_{a1} + Z_{bs1}; \tag{9.3.30}$$

$$J_{a2} = \sqrt{\delta_{b_2}^2 + \delta_{g_2}^2 + \delta_{eb_2}^2 + \delta_{ibf_2}^2} + Z_{a2} + Z_{bs2}, \tag{9.3.31}$$

în care: δ_{eb1} și δ_{eb2} reprezintă toleranțele diametrului exterior al bucșei schimbabile unu, respectiv doi; δ_{ibf1} și δ_{ibf2} — toleranțele diametrului interior al bucșei fixe unu, respectiv doi; Z_{bs1} și Z_{bs2} — mărimea jocului real dintre bucșa de conducere schimbabilă unu, respectiv doi și bucșele fixe în care se introduc.

Înlocuind relațiile (9.3.28), (9.3.29) și (9.3.31) în relațiile (9.3.26), respectiv (9.3.27), se obține:

a — pentru cazul cînd cele două bucșe de conducere sînt fixe în placa de susținere sau peretele dispozitivului:

$$J_1 = \sqrt{\delta_{b_1}^2 + \delta_{g_1}^2} + Z_{a1} + J_u; \tag{9.3.32}$$

$$J_2 = \sqrt{\delta_{b_2}^2 + \delta_{g_2}^2} + Z_{a2} + J_u. \tag{9.3.33}$$

b — pentru cazul cînd cele două bucșe de conducere sînt schimbabile:

$$J_1 = \sqrt{\delta_{b_1}^2 + \delta_{g_1}^2 + \delta_{eb_1}^2 + \delta_{ibf_1}^2} + Z_{a1} + Z_{bs1} + 2J_u; \tag{9.3.34}$$

$$J_2 = \sqrt{\delta_{b_2}^2 + \delta_{g_2}^2 + \delta_{eb_2}^2 + \delta_{ibf_2}^2} + Z_{a2} + Z_{bs2} + 2J_u. \tag{9.3.35}$$

2 — Cîmpul de dispersie provocat de excentricitatea axei de simetrie a găurii alezajului de conducere este:

a — în cazul a două bucșe fixe:

$$\Delta e = \sqrt{8e^2} \cong 2{,}8e \cong 0{,}007 \text{ mm}. \tag{9.3.36}$$

b — în cazul în care una din bucșe este fixă, iar a doua schimbabilă:

$$\Delta e = \sqrt{12e^2} \cong 3{,}5e \cong 0{,}009 \text{ mm}. \tag{9.3.37}$$

Scanned with OKEN Scanner

c — atunci cînd ambele bucşe sînt schimbabile:

$$\Delta e = \sqrt{16e^2} = 4e = 0{,}01 \text{ mm}. \qquad (9.3.38)$$

3 — Cîmpul de dispersie al dimensiunilor datorită toleranţei care îngrădeşte distanţa dintre axele de simetrie ale alezajelor date în placa de susţinere sau în peretele dispozitivului, alezaje în care se introduc bucşele de conducere, se ia egal cu cîmpul toleranţei respective. Toleranţa se ia egală cu 0,02 mm.

Cîmpul total de dispersie a dimensiunilor care reprezintă distanţa dintre axele de simetrie ale alezajelor executate în piesa fixată într-un dispozitiv cu bucşe de conducere se determină ca în cazul precedent.

Avînd în vedere faptul că mărimea cîmpului de dispersie a acestor dimensiuni este funcţie de trei factori de bază şi anume de Δ_{tb}, Δ_e şi Δ_{ed}, ea se calculează cu următoarele relaţii:

a — cînd bucşele de conducere sînt fixe:

$$\Delta = 0{,}9\sqrt{K_1^2(J_{a_1} - Z_{a_1})^2 + K_2(J_{a_2} - Z_{a_2})^2 + \Delta_{ed}^2 + \Delta_e^2} + Z_{a_1} + Z_{a_2} + 2J_u. \qquad (9.3.39)$$

Cînd diametrul alezajelor care se burghiază şi adîncimea lor este egală, relaţia (9.3.39) capătă următoarea formă:

$$\Delta = 0{,}9\sqrt{2K^2(J_{a_1} - Z_a)^2 + \Delta_{ed}^2 + \Delta_e^2} + 2(Z_a + J_u). \qquad (9.3.40)$$

b — cînd bucşele de conducere sînt schimbabile:

$$\Delta = 0{,}9\sqrt{K_1^2(J_{a_1} - Z_{a_1} - Z_{bs})^2 + K_2^2(J_{a_2} - Z_{a_2} - Z_{bs_2})^2 + \Delta_{ed}^2 + \Delta_e^2} + Z_{a_1} + Z_{a_2} + Z_{bs_1} + Z_{bs_2} + 2J_u. \qquad (9.3.41)$$

Precizia unghiurilor care definesc poziţia axelor de simetrie a alezajelor executate prin burghiere în dispozitive cu bucşe de conducere se determină, plecînd de la abaterile liniare ale axei de simetrie a alezajului faţă de poziţia lor, definită de valorile nominale ale coordonatelor date.

Abaterile liniare ale fiecărui alezaj (din două) definite de unghiul α corespund abaterilor totale Δ raportate la axa de simetrie a unuia din alezaje. Eroarea Δ în cazul bucşei de conducere fixă se determină după relaţia (9.3.39) iar a bucşei schimbabile după relaţia (9.3.41).

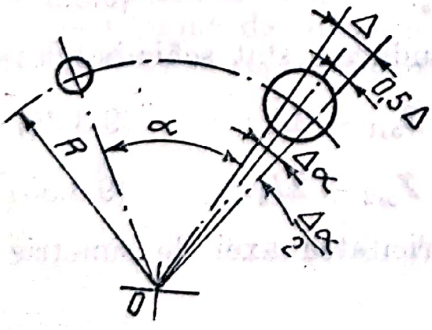


Fig. 9.3.2. Schemă de calcul a erorii unghiulare.

Jumătate din eroarea unghiului α, adică $\frac{\Delta\alpha}{2}$ se calculează din triunghiul dreptunghic OAB (fig. 9.3.2) $\operatorname{tg}\frac{\Delta\alpha}{2} = \frac{AB}{OA}$, în care $AB = \frac{\Delta}{2}$, iar $OA = R$. Deci, $\operatorname{tg}\frac{\Delta\alpha}{2} = \frac{\Delta}{2R}$ sau $\frac{\Delta\alpha}{2} = \operatorname{arc\,tg}\frac{\Delta}{2R}$,

de unde rezultă

$$\Delta\alpha = 2 \operatorname{arc\,tg}\frac{\Delta}{2R}. \qquad (9.3.42)$$

9.4. PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A BATIURILOR, COLOANELOR ŞI A SĂNIILOR DE MAŞINI-UNELTE

Piesele incluse în această clasă se caracterizează prin prezenţa uneia sau a mai multor suprafeţe plane, înguste şi lungi, sau mai scurte şi late, paralele sau perpendiculare. Una sau două din aceste suprafeţe ale pieselor îndeplinesc funcţia de bază în timpul funcţionării maşinii sau aparatului din componenţa căruia face parte. Multe piese din această clasă sînt prevăzute şi cu alezaje, unele cu rol de lagăre, altele cu rol de ghidaje, de reazem sau de fixare, unele străpunse — drepte sau în trepte, altele — înfundate.

În figura 9.4.1 se prezintă cîteva din cele mai caracteristice piese din această clasă.

Condiţiile tehnice impuse batiurilor, coloanelor şi săniilor de maşni-unelte. Condiţiile tehnice impuse pieselor din această clasă se referă la: planeitatea suprafeţelor plane, paralelismul sau perpendicularitatea acestora, concentricitatea suprafeţelor alezajelor, paralelismul sau perpendicularitatea axelor de simetrie faţă de suprafaţa plană principală a piesei etc.

Astfel, de exemplu, pentru batiuri, sănii şi mese de maşini-unelte se impun următoarele condiţii tehnice mai importante:

— abaterile de la liniaritate a ghidajelor nu trebuie să depăşească 0,01—0,05 mm pe o lungime de 1000 mm; la batiurile maşinilor-unelte de înaltă precizie abaterea admisibilă la liniaritatea ghidajelor este de numai 0,002mm/1000 mm;

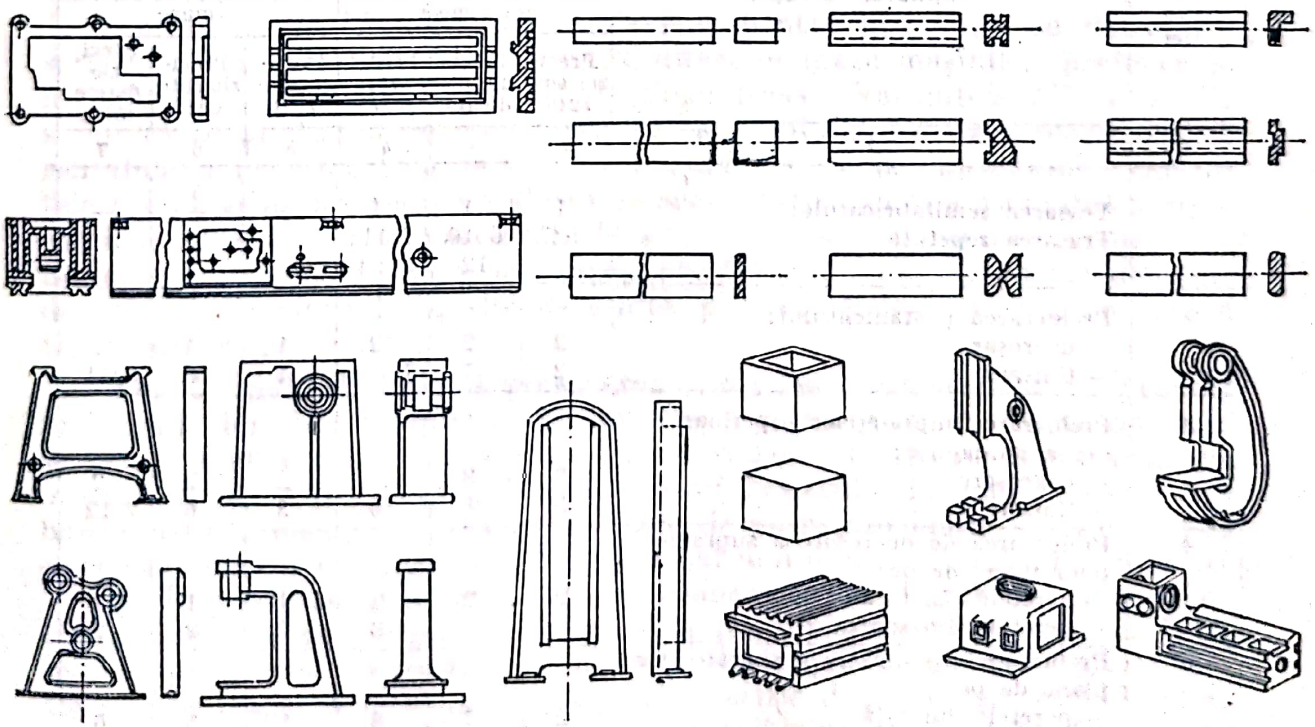


Fig. 9.4.1. Piese caracteristice din clasa corpuri complexe.

Scanned with OKEN Scanner

— abaterile de la paralelism ale ghidajelor nu trebuie să fie mai mari de 0,01—0,05 mm pe o lungime de 1000 mm;

— abaterile de la perpendicularitate ale ghidajelor (între ele și față de axa de rotație a axului principal) trebuie cuprinse între 0,02—0,1 mm pe o lungime de 1000 mm;

— rugozitatea suprafețelor ghidajelor trebuie să fie de 1,6—0,8 μm (R_a); la mașinile de înaltă precizie $R_a = 0{,}05$ μm.

Procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a batiurilor, coloanelor și a săniilor de mașini-unelte. Una din cele mai reprezentative piese din această clasă poate fi considerată a fi batiul unei mașini-unelte, deoarece în configurația geometrică a acestuia se găsesc toate tipurile de suprafețe întîlnite la celelalte piese din clasa amintită. Astfel, batiul are suprafețe plane înguste și lungi (ghidajele), suprafețe plane scurte și late (postamentul, suprafețele de pe peretele din față și cel din spate), suprafețe de fixare pentru carcasa cutiei de viteze și de avansuri, suprafețe de capăt perpendiculare pe ghidaje, alezaje principale, alezaje secundare înfundate sau străpunse, alezaje filetate de fixare.

Procesul tehnologic tipizat de prelucrare a batiurilor pentru mașinile-unelte cu precizie scăzută, ridicată și foarte ridicată este prezentat în tabelul 9.4.1 sub formă de fișă tehnologică, în care se indică succesiunea operațiilor în condițiile unei producții de serie mare, serie mică și de unicate.

Tabelul 9.4.1

Procese tehnologice tipizate de prelucrare a batiurilor

Nr. de ordine al opeației	Conținutul operației	Ordonarea operațiilor în diversele variante de succesiune a operațiilor					
		I	II	III	IV	V	VI
		Producție de unicate serie mică			Producție de serie mare		
		Precizie scăzută	Precizie ridicată	Precizie mare	Precizie scăzută	Precizie ridicată	Precizie foarte mare
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Trasarea semifabricatului Trasarea repetată	1 5;7	1 6;10;12	1 7;11;14;16	—	—	—
2	Prelucrarea postamentului: — degroșare — finisare	 2 2	 2 7	 2 8;15	 1 1	 1 5	 1 6;11
3	Prelucrarea suprafețelor superioare sau a ghidajelor: — degroșare — finisare	 3 3	 3 8	 3 9	 2 3	 2 6	 2 7;12
4	Prelucrarea de degroșare a suprafețelor plane de pe: — peretele din față — peretele din spate	 2 3	 2 3	 2 3	 1 2	 1 2	 1 2
5	Prelucrarea de finisare a suprafețelor plane de pe: — peretele din față — peretele din spate	 2 3	 7 8	 8 9	 1 3	 5 6	 6 7

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.4.1 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7
6	Prelucrarea suprafeţelor de capăt:						
	— degroşare	4	9	4	4	7	3
	— finisare	4	9	10	4	7	8
7	Prelucrarea alezajelor principale:						
	— degroşare	6	4	5	5	3	4
	— finisare	6	11	12	5	8	9;13
8	Prelucrarea alezajelor de fixare:						
	— pe suprafeţele superioare:	8	13	17	6	9	14
	— pe suprafeţele inferioare;	9	14	18	6	9	14
	— pe suprafeţele din faţă;	10	15	19	6	9	14
	— pe suprafeţele din spate;	11	16	20	6	9	14
	— pe suprafeţele de capăt	12	17	21	7	10	15
9	Tratamentul termic de detensionare	—	5	6;13	—	4	5;10
10	Tratamentul termic al ghidajelor	—	18	22	—	11	16
	Prelucrarea de finisare prin rectificare sau prin răzuire:						
	— ghidajelor	—	11	23	—	12	17
	— alezajelor principale	—	20	24	—	13	18

Observaţie: La batiurile verticale drept postament se consideră suprafaţa de capăt inferioară. În procesele tehnologice se includ şi prelucrările de înlăturare a bavurilor, cele de şanfrenare, de curăţire şi vopsire.

9.4.1. ANALIZA OPERAŢIILOR PROCESULUI TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A BATIURILOR

Pentru toată varietatea mare de forme constructive de batiuri (v. fig. 9.4.1) succesiunea operaţiilor proceselor tehnologice poate fi inclusă în şase variante notate în tabelul 9.4.1 cu cifre romane.

Variantele *I*, *II* şi *III* sînt prevăzute pentru producţia de unicate şi serie mică, în care batiurile se fixează direct pe masa maşinilor, prelucrarea făcîndu-se după aşchii de probă sau după trasaj. Variantele *IV*, *V* şi *VI* se aplică în producţia de serie mare, în care utilizarea dispozitivelor devine rentabilă, iar prelucrarea se face pe maşini reglate la dimensiune. Variantele *I* şi *IV* se aplică pentru prelucrarea acelor batiuri cărora nu le sînt impuse condiţii tehnice severe. Variantele *II* şi *V* se recomandă pentru prelucrarea batiurilor cu precizii înalte, iar variantele *III* şi *VI* pentru batiuri deosebit de precise ale maşinilor-unelte de înaltă precizie, în special pentru cîteva tipuri de maşini-unelte.

9.4.1.1. **Indicaţii privind prescrierea succesiunii suprafeţelor în vederea prelucrării lor.** În producţia de unicate şi serie mică în prima operaţie se face trasarea semifabricatului, atît în vederea fixării pe masa maşinii-unelte, cît şi a prelucrării. Trasarea semifabricatului în multe cazuri trebuie repetată, deoarece după prelucrările de degroşare liniile trasate se pot şterge sau deforma o dată cu deformarea batiului datorită tensiunilor interne.

În toate cazurile, atît pentru prelucrarea de degroşare, cît şi pentru prelucrarea de finisare şi foarte fină (rectificare sau răzuire)mai întîi trebuie prelucrată suprafaţa postamentului şi apoi suprafeţele ghidajelor. Dacă nu se respectă acest principiu, scade precizia de prelucrare a ghidajelor. Se presupune, de exemplu, că după varianta *V* a procesului tehnologic, pre-

Scanned with OKEN Scanner

lucrarea de finisare (cea prevăzută în operația a 5-a) a început cu prelucrarea ghidajelor și nu a postamentului, adică batiul a ajuns la operația a 5-a după prelucrarea de degroșare cea de detensionare, cu erori mari de formă a suprafeței postamentului. Dacă batiul se așază pe masa mașinii cu suprafața deformată, acesta se deformează elastic sub acțiunea forțelor de strîngere. După prelucrarea ghidajelor, batiul, îndepărtat de pe mașina respectivă, revine la forma avută înainte de fixare pe masa mașinii, fapt care conduce la apariția erorilor de formă ale ghidajelor (abateri de la rectilinitate, planeitate sau paralelism). Dacă la această operație se utilizează un dispozitiv de fixare a batiului, care elimină acest fenomen, succesiunea respectivă a operațiilor totuși nu este rațională, deoarece în operația următoare —prelucrarea de finisare a suprafeței postamentului — batiul se așază pe masa mașinii, sau chiar într-un dispozitiv, pe ghidaje, care, cu toată atenția muncitorului, pot fi deteriorate prin lovire în timpul manipulării batiului.

● Prelucrările de finisare trebuie executate în operații separate de cele de degroșare, în special pentru batiurile mașinilor-unelte de înaltă precizie. Acest principiu se bazează pe următoarele considerente:

— în urma prelucrării de degroșare apar deformații însemnate ale batiului datorită redistribuirii tensiunilor interne remanente: dacă prelucrarea definisare a batiului se execută în aceeași operație, atunci, după îndepărtarea batiului de pe masa mașinii, redistribuirea tensiunilor interne, care continuă să aibă loc, provoacă erori mari de formă ale suprafețelor prelucrate;

— în timpul prelucrării de degroșare iau naștere tensiuni interne în stratul superficial al suprafeței prelucrate, chiar dacă acestea n-au existat în corpul batiului; pentru înlăturarea acestora trebuie să se prevadă în planul de operații o operație de detensionare, prelucrarea de finisare urmînd să se execute într-o operație separată;

— prelucrarea de finisare, despărțită de cea de degroșare într-o operație separată, se poate executa pe o mașină mult mai precisă decît mașina pe care a avut loc prelucrarea de degroșare;

— prelucrarea de finisare în urma căreia se obțin dimensiunile finale, precum și gradul impus de calitate a suprafeței trebuie să fie executată de muncitori cu înaltă calificare profesională.

● Dacă batiul este prevăzut și cu alezaje principale, atunci acestea trebuie să fie prelucrate după prelucrarea ghidajelor. Acest principiu se bazează pe considerentul că este mult mai simplă, mai solidă și mai precisă bazarea batiului pe ghidaje pentru prelucrarea acestor alezaje, decît bazarea pe alezaje pentru prelucrarea ghidajelor. Desigur, că acest principiu poate fi încălcat în unele cazuri speciale, după analiza minuțioasă a tuturor posibilităților de bazare.

● Executarea alezajelor de fixare trebuie să se efectueze în ultimele operații ale procesului tehnologic, înaintea operației de prelucrare fină a ghidajelor (rectificare sau răzuire), deoarece executarea acestora, respectiv burghierea pe suprafețe brute, mai ales turnate, este legată de foarte multe greutăți (uzură prematură a burghiului, regim scăzut de așchiere, devierea burghiului, cantitate mare de metal îndepărtată prin burghiere, productivitate scăzută și cost ridicat).

În general, operațiile în care probabilitatea apariției rebutului este mare trebuie să se execute la începutul procesului tehnologic, pentru a evita acumularea diverselor cheltuieli efectuate cu prelucrările de mai înainte.

Scanned with OKEN Scanner

9.4.1.2. **Prelucrarea de degroşare a postamentului.** Prima operaţie a procesului tehnologic de prelucrare a batiurilor, după cea de trasaj este cea de prelucrare de degroşare a postamentului. Deoarece alegerea bazelor tehnologice la această operaţie a fost analizată în paragraful precedent, în cele ce urmează se prezintă modul de aşezare şi fixare a batiului pe masa maşinii în vederea prelucrării de degroşare şi alegerea procedeului sau a metodei de prelucrare de degroşare.

În producţia de serie mică şi de unicate aşezarea batiului se face direct pe masa maşinii, iar poziţionarea acestuia se execută după trasaj, utilizînd cricuri pitice (fig. 9.4.2, *a*), saboţi, plane înclinate (fig. 9.4.2, *b*) sau reazeme cu şurub (fig. 9.4.2, *c*). Fixarea batiului pe masa maşinii se face cu cleme dispuse în dreptul reazemelor de poziţionare pentru a evita deformaţia elastică a batiului.

În producţia de serie, în general, este mai economică aşezarea şi fixarea batiurilor nu după trasaj, ci în dispozitive speciale cu acţionare mecanică, pneumatică, pneumohidraulică, hidraulică sau electrică. Indicaţii privind alegerea unuia din sistemele enumerate de acţionare se dau în următorul exemplu de calcul.

Dacă un dispozitiv de fixarea batiului este prevăzut cu şapte şurubur cu piuliţe, timpul necesar pentru aşezarea (scoaterea) batiului în dispozitiv, după normative este de 2,1 min. Costul unui minut de lucru pe o maşină de rabotat sau frezat, incluzînd şi retribuţia muncitorului, este de aproximativ 38,25 bani. Deci, cheltuielile de producţie pentru un batiu sînt de $38{,}25 \times 2{,}1 = 80{,}33$ bani. Costul unui dispozitiv cu acţionare pneumatică faţă de cel al unuia cu acţionare mecanică este aproximativ, cu 521 lei mai mare. Dacă se ia termenul de recuperarea cheltuielilor făcute cu realizarea dispozitivului egal cu doi ani, rezultă că utilizarea dispozitivelor cu acţionare pneumatică este economică numai atunci cînd lotul de batiuri este mai mare de 300 buc/an. Desigur, că valorile admise în cadrul exemplului dat pot diferi mult faţă de cele reale, însă metodica de calcul este general valabilă pentru diverse cazuri.

Alegerea procedeului şi metodei de prelucrare de degroşare a suprafeţelor postamentului batiurilor se face funcţie de configuraţia geometrică a suprafeţelor postamentului, reprezentată schematic în figura 9.4.3, adaosul de prelucrare şi mărimea seriei.

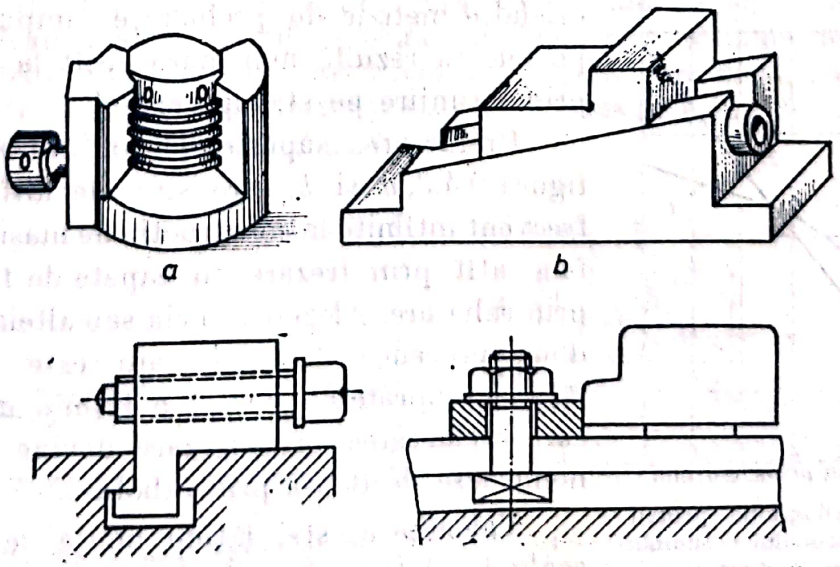


Fig. 9.4.2. Dispozitive pentru poziţionarea batiului pe masa maşinii-unelte.

Scanned with OKEN Scanner

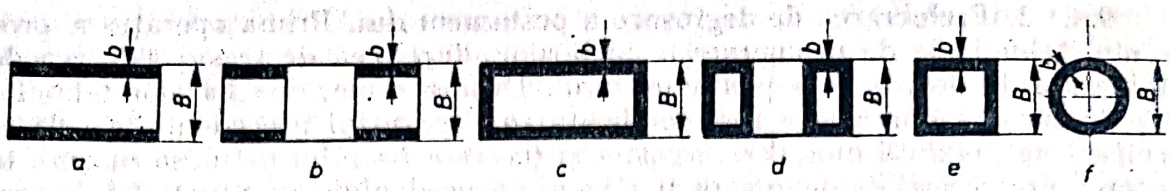


Fig. 9.4.3. Configurații geometrice ale suprafețelor postamentului.

Procedeele posibile care pot fi utilizate pentru prelucrarea suprafețelor respective sînt: frezarea, rabotarea, strunjirea și rectificarea de degroșare, criteriul de bază pentru alegerea unuia din aceste procedee este costul minim al prelucrării. Însă calculul comparativ al costului necesită un volum relativ mare de timp și de aceea, în multe cazuri, acest calcul poate fi evitat, folosind pentru alegerea celui mai economic procedeu de prelucrare indicațiile date în cele ce urmează.

Rectificarea de degroșare cu discuri cu segmenți pe mașini de rectificat verticale cu masă dreptunghiulară poate fi mai economică decît cea prin frezare numai în cazul suprafețelor cu configurația asemănătoare celei din figura 9.4.3, *c* și *d*, care pentru aceste cazuri poate fi comparată cu frezarea cu capete de frezat.

Ca de exemplu se analizează comparativ prelucrarea suprafețelor postamentului unui batiu cu lungimea de 2 000 mm și lățimea de 500 mm prin rectificare și prin frezare. Discul de rectificat cu segmenți are diametrul de 800 mm, iar diametrul capului de frezat cu dinți din carburi metalice VK8 este de 600 mm. Luînd pentru rectificare viteza de avans $v_s = 10$ m/min și adîncimea de așchiere $t = 0{,}1$ mm, iar pentru frezare regimurile de așchiere prevăzute în normele de stat, s-a construit diagrama din figura 9.4.4. Astfel de diagrame se pot construi și pentru alte dimensiuni ale suprafețelor de prelucrat. Din diagramă se observă că, în cazul adaosurilor mici, pînă la 4 mm, prelucrarea prin rectificare este mai productivă decît cea prin frezare. Dacă se ia în considerare și faptul că cheltuielile făcute de energia electrică sînt de șase ori mai mari decît în cazul frezării, iar cele cu sculele abrazive de două ori mai mari, se ajunge la concluzia că numai în cazul adaosurilor de prelucrare de 2—3 mm prelucrarea de degroșare prin rectificare este mai economică decît cea prin frezare.

Strunjirea de degroșare frontală pe strung carusel se poate aplica, desigur, numai pentru prelucrarea suprafețelor cu configurația asemănătoare cu cea din figura 9.4.3, *e* și *f*. Admițînd un adaos de prelucrare de 8 mm, la toate celelalte metode de prelucrare timpul de lucru pe bucată rezultă mai mare decît la prelucrarea prin strunjire pe strung carusel.

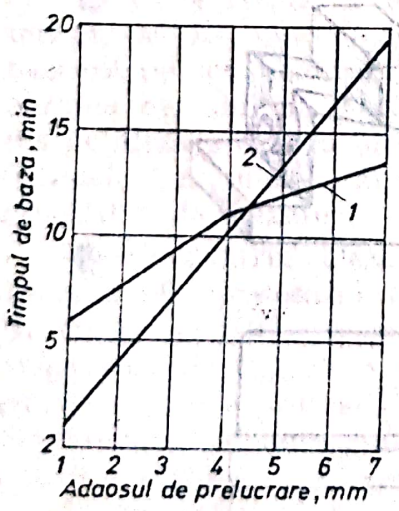


Fig. 9.4.4. Diagramă pentru alegerea procedeului economic la prelucrarea postamentului.

Prelucrarea suprafețelor cu configurația din figura 9.4.3, *a* și *b*, care sînt de altfel, cel mai frecvent întîlnite în construcția de mașini, se poate face atît prin frezare cu capete de frezat, cît și prin rabotare. Alegerea uneia sau alteia din aceste două procedee de prelucrare este funcție de lățimea suprafeței. Există o lățime minimă sub care prelucrarea prin frezare devine mai neeconomicoasă decît cea prin rabotare.

Valoarea acestei lățimi limită se determină egalînd relațiile de calcul ale timpului de bază

Scanned with OKEN Scanner

la cele două prelucrări. Astfel, timpul de bază la prelucrarea prin frezare este:

$$\tau_b = \frac{L_f}{v_s}, \tag{9.4.1}$$

iar la cea prin rabotare:

$$\tau_b = \frac{L_r b(a+1)}{1000\, sav}, \tag{9.4.2}$$

unde: L_f şi L_r reprezintă lungimea parcursă de capul de frezat sau de piesă cu avans de lucru la prelucrarea prin frezare, respectiv prin rabotare, în mm; v_s — viteza de avans, în mm/min; b — lăţimea suprafeţei care se prelucrează, în mm; a — raportul dintre viteza la mersul în gol şi cea de aşchiere; s — avansul de lucru la o cursă dublă a mesei, în mm/cd; v — viteza de aşchiere, în m/min.

Din egalarea celor două relaţii rezultă:

$$b = 1000 \frac{sv}{v_s} \cdot \frac{a}{a+1} \cdot \frac{L_f}{L_r}. \tag{9.4.3}$$

De exemplu: dacă $s = 1{,}6$ mm/cd; $v = 20$ m/min; $v_s = 50$ mm/min; $a = 2$, iar $L_f \approx L_r$, rezultă:

$$b = 1000 \frac{1{,}6 \cdot 20}{50} \cdot \frac{2}{2+1} = 140 \text{ min.}$$

Deci, pentru prelucrarea cu un astfel de regim de aşchiere, productivitatea maximă se obţine la prelucrarea prin rabotare numai atunci cînd lăţimea suprafeţei care se prelucrează este mai mică de 140 mm.

Suprafeţe cu lăţimi mai mari de 140 mm se pot prelucra prin rabotare cu două cuţite simultan, fixate pe doi suporţi portsculă de pe traversa maşinii. Pentru echilibrarea forţelor de aşchiere, avansul celor două suporturi trebuie să fie de sens contrar, iar pentru a nu se împiedica reciproc, unul din cuţite începe aşchierea de la marginea din dreapta, cuţitul *1*, iar celălalt, cuţitul *2*, de la o distanţă oarecare de marginea din stînga a piesei (fig. 9.4.5, *a*). După prelucrarea pe o anumită lăţime b_1, cuţitul *2*, se retrage la marginea din stînga de unde continuă prelucrarea în direcţie inversă cuţitului *1*.

Productivitatea prelucrării prin rabotare a suprafeţelor postamentului batiurilor (sau a altor suprafeţe plane ale batiurilor, săniilor, meselor etc.) poate fi mărită divizînd adîncimea mare de aşchiere între două, trei sau patru cuţite, fixate în suporturile portcuţite de pe traversa maşinii (fig. 9.4.6, *a*) sau divizînd avansul transversal (fig. 9.4.6, *b*).

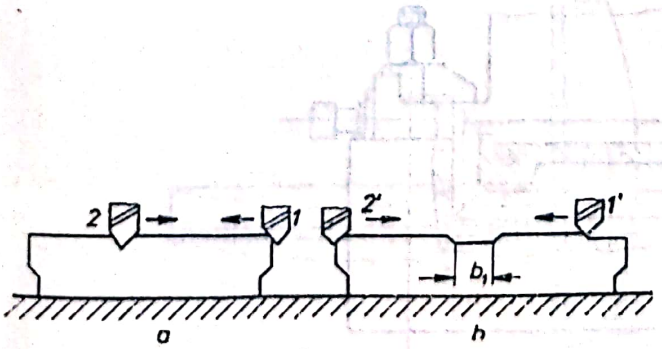


Fig. 9.4.5. Rabotarea cu două cuţite simultan.

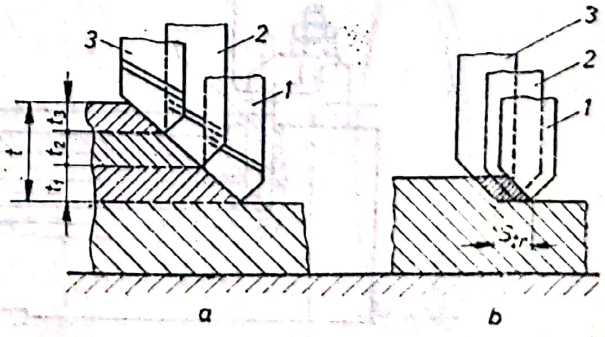


Fig. 9.4.6. Divizarea adîncimii de aşchiere (*a*) şi a avansului transversal (*b*).

Alegerea procedeului sau metodei de prelucrare a suprafețelor postamentelor cu configurația din figura 9.4.3, *c* și *d*, avînd în vedere cele prezentate pînă aici, înclină foarte clar spre frezarea cu cap de frezat.

9.4.1.3. **Prelucrarea de finisare a postamentului.** După prelucrarea de degroșare a ghidajelor și a suprafețelor plane de pe peretele din față al batiului și după tratamentul termic de detensionare în cazul batiurilor cu precizie ridicată urmează prelucrarea de finisare a suprafețelor postamentului care servesc drept bază de așezare și de ghidare în operațiile următoare.

Prelucrarea de finisare a acestor suprafețe se deosebește de cea de degroșare prin cîteva particularități, și anume:

a — În producția individuală și de serie, în care de obicei nu se folosesc dispozitive speciale de fixare a pieselor, batiurile pentru executarea acestei operații se așază direct pe masa mașinii sau pe prisme plane paralelipipedice atunci cînd suprafețele superioare ale batiului nu se găsesc în același plan. Însă, deoarece în batiul prelucrat eboș, au acționat tensiuni interne puternice, suprafețele de bază ale acestuia s-au deformat și nu mai fac contact cu masa mașinii în toate punctele. Dacă nu se iau nici un fel de măsuri la strîngerea batiului pe masa mașinii în vederea prelucrării, acesta se va deforma elastic și, după desprinderea de pe mașină, suprafețele plane prelucrate vor avea abateri de la planeitate. Pentru a evita acest lucru trebuie să se verifice cu spioni contactul suprafeței de bazare cu masa mașinii și, în locurile cu jocuri mari, să se introducă foițe metalice, de preferință sub formă de pene, cu unghiul de înclinație de 1:1000.

În producția de serie și masă pentru efectuarea acestei operații se folosesc dispozitive, care, din punct de vedere constructiv, sînt similare cu cele din figura 9.4.7, diferind numai elementele de reazem *1*, care se aleg funcție de forma suprafețelor de bazare ale batiurilor.

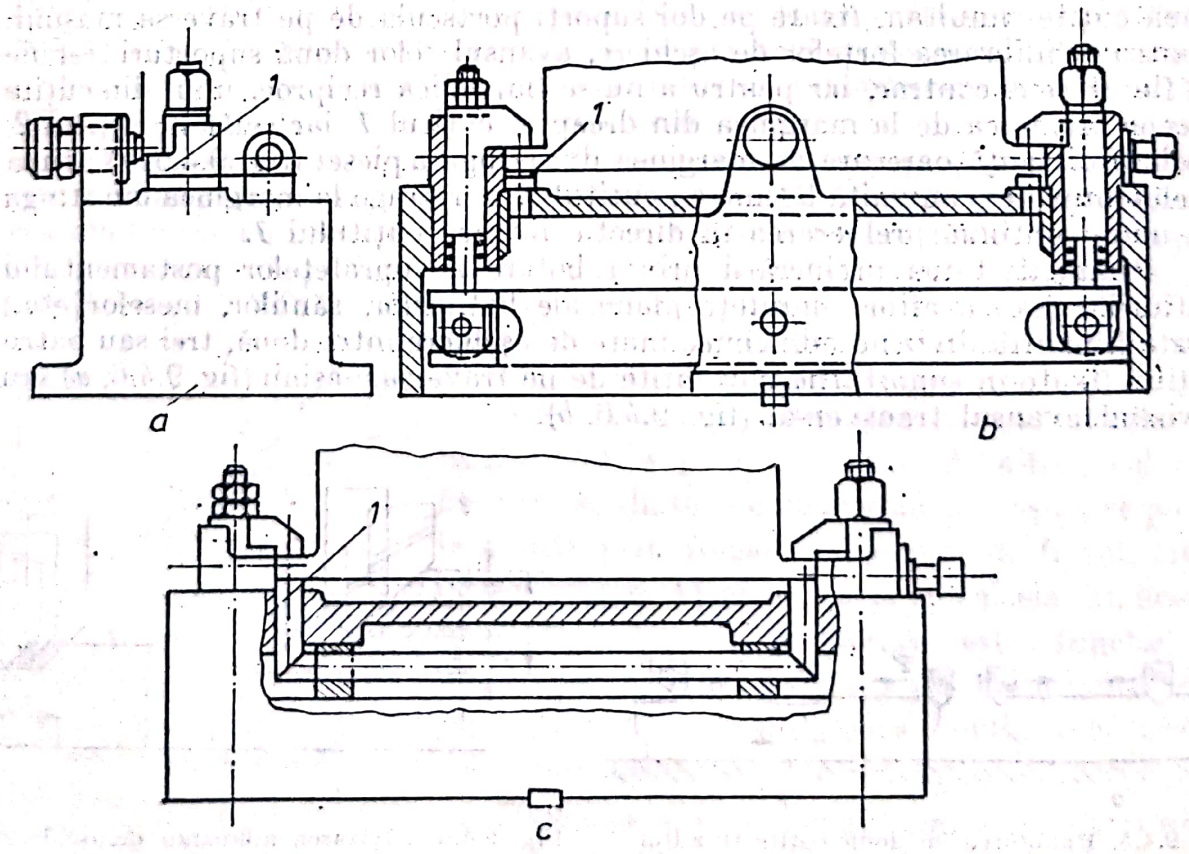


Fig. 9.4.7. Dispozitive pentru fixarea batiului pe masa mașinii-unelte.

Scanned with OKEN Scanner

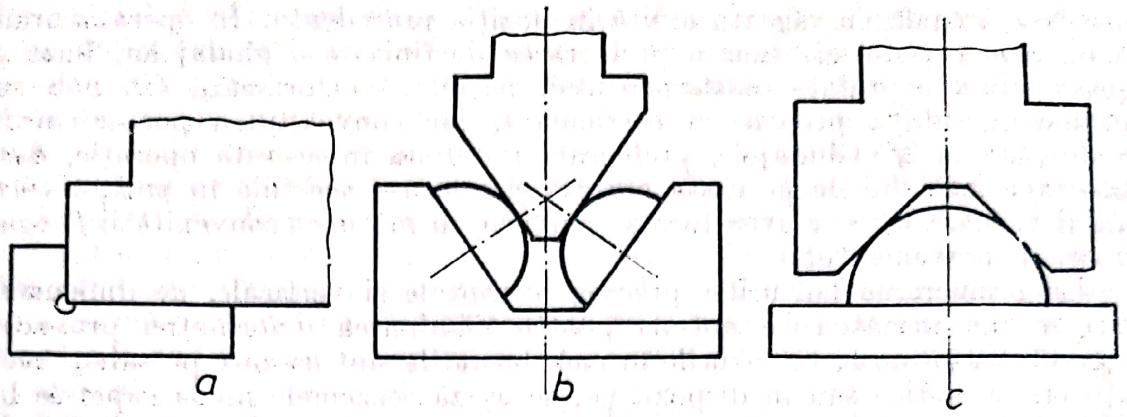


Fig. 9.4.8. Forme constructive de ghidaje.

Pentru batiuri cu suprafețele superioare (ghidajele) de forma celor prezentate în figura 9.4.8, *a* și *c* sînt necesare două reazeme stabile, dispuse în lungul batiului. Al treilea reazem, independent de forma ghidajelor, este plan și stabil, iar al patrulea este plan și deplasabil, cu o formă dintre cele cunoscute. Lungimea reazemelor semicilindrice (fig. 9.4.8, *b* și *c*) trebuie să se calculeze pornind de la tensiunile de contact admisibile pentru contactul liniar.

b — La fixarea batiurilor grele de lungimi mari este necesar să se aibă în vedere deformațiile acestora sub acțiunea greutății proprii. De exemplu, un batiu cu lățimea de 800 mm, înălțimea de 500 mm și lungimea de 3000 mm și cu grosimea pereților de 15—20 mm, fiind așezat pe două reazeme dispuse la capete, se încovoaie sub greutatea sa proprie aproximativ cu 0,08 mm. Același fel de batiu însă cu lungimea de 5000 mm se încovoaie cu 0,6 mm. Astfel de deformații pentru batiuri foarte precise pot conduce la erori de formă inadmisibile.

Schema apariției acestor erori la prelucrarea batiurilor este prezentată în figura 9.4.9. La operația de prelucrare de finisare a suprafeței postamentului, batiul, după așezarea și fixarea pe reazeme, se deformează sub influența propriei sale greutăți cu săgeata *f* (fig. 9.4.9, *a*), însă suprafața postamentului în urma prelucrării va rezulta plană, adaosul de prelucrare îndepărtat fiind mai mare decît mărimea săgeții *f*. După prelucrare, dacă batiul se așază în poziție verticală (fig. 9.4.9, *b*), acțiunea greutății de deformare dispare, ghidajele recapătă forma liniară, iar postamentul prelucrat devine bombat cu

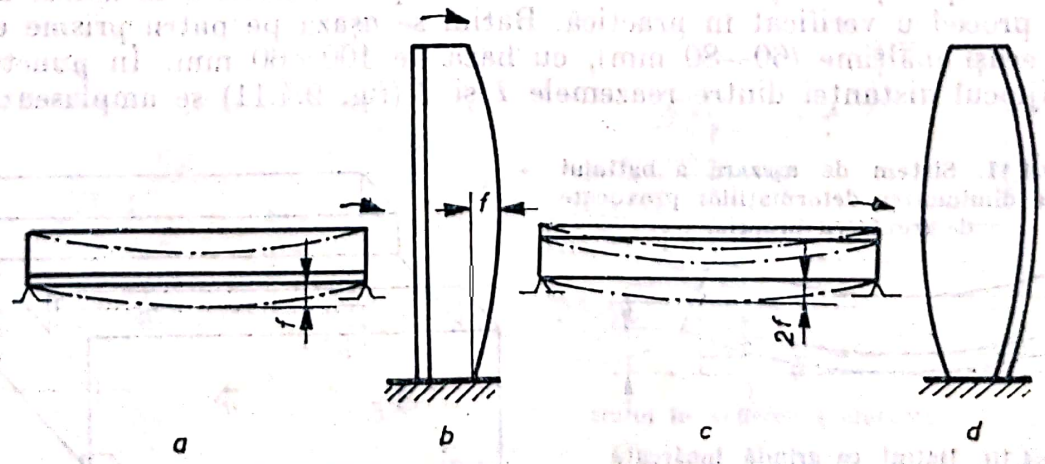


Fig. 9.4.9. Reprezentarea erorilor care apar la prelucrarea batiurilor.

Scanned with OKEN Scanner

mărimea f, egală cu săgeata avută în poziția precedentă. În operația următoare, prin care se efectuează prelucrarea de finisare a ghidajelor, baza de așezare fiind suprafața postamentului, batiul se deformează din nou sub acțiunea greutății proprii cu mărimea f, iar convexitatea postamentului crește pînă la $2f$. Ghidajele, prelucrate rectiliniu în această operație, după eliberarea batiului de pe masa mașinii și așezarea acestuia în poziție verticală (fig. 9.4.9, *d*), vor avea forma convexă cu mărimea convexității f, egală cu cea a postamentului.

La prelucrarea batiurilor precise, orizontale și verticale, de dimensiuni mari se iau următoarele măsuri pentru eliminarea deformației provocate de greutatea proprie, în cazurile în care batiurile sînt așezate pe saboți înclinați, cricuri pitice sau în dispozitive: se așază reazemele nu la capetele batiului, ci în punctele cu săgeata minimă, de exemplu la distanța de 0,2 din lungimea totală de la capete (această măsură nu elimină complet deformația, însă o reduce simțitor); folosirea în calitate de instalație de descărcare, reazeme cu șurub sau cric hidraulic așezate la mijlocul distanței dintre reazeme.

Dacă, pentru prelucrarea de finisare a postamentului, se așază batiul direct pe masa mașinii, fără nici un fel de reazem, atunci nu trebuie să apară deformații provocate de greutatea lui proprie. Acest lucru ar fi posibil numai în cazul în care suprafața de bazare a batiului ar fi perfect plană. În realitate, batiul, care ajunge la prelucrarea de finisare după prelucrările de degroșare și tratamentul termic de detensionare, are erori mari de formă. Se admite că după prelucrările de degroșare, batiul prezintă, în partea ghidajelor, o convexitate. La așezarea batiului pe masa mașinii, acesta se reazemă pe masă cu punctul în care convexitatea este maximă. În acest caz, capetele batiului se încovoaie cu săgeata f, sub acțiunea jumătății din greutatea batiului $\left(\frac{G}{2}\right)$. Batiul se consideră ca o bară simplă rezemată, cu consolе încărcată cu o sarcină uniform distribuită (fig. 9.4.10). Dacă se face prelucrarea suprafeței postamentului batiului în această stare și dacă după prelucrare se așază batiul în poziție verticală, suprafața postamentului va prezenta o concavitate de mărime f, iar ghidajele convexitatea pe care au avut-o înaintea prelucrării. Fenomene similare s-ar fi întîmplat cu batiul și în cazul în care acesta ar fi avut după prelucrarea precedentă concavitate sau ar fi fost răsucit în jurul axei longitudinale.

Pentru reducerea deformației provocate de greutatea proprie a batiului, la operația de prelucrare de finisare a postamentului se aplică următorul procedeu verificat în practică. Batiul se așază pe patru prisme exact cu aceeași înălțime (60—80 mm), cu baza de 100×60 mm. În punctul *5*, la mijlocul distanței dintre reazemele *1* și *2* (fig. 9.4.11) se amplasează un

Fig. 9.4.11. Sistem de așezare a batiului → pentru diminuarea deformațiilor provocate de greutatea proprie.

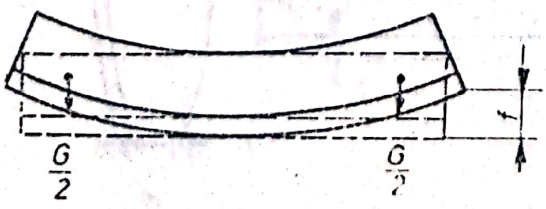
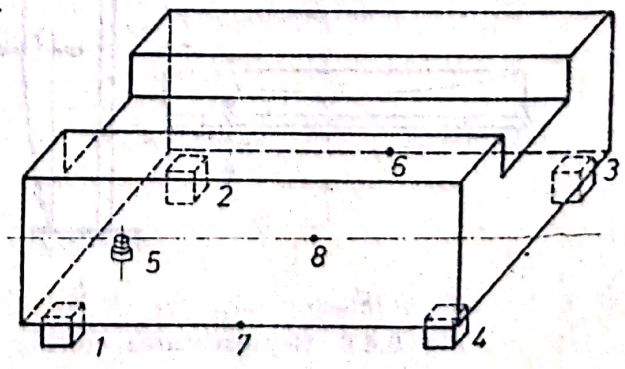


Fig. 9.4.10. Batiul ca grindă încărcată cu sarcină uniform distribuită.



Scanned with OKEN Scanner

cric și se ridică lent batiul cînd se slăbește unul din reazeme, de exemplu *1*. Acesta se scoate și se continuă ridicarea lentă a batiului pînă se slăbește și reazemul *2*, care însă nu se mai scoate. Apoi, în locul reazemului *1* scos, se introduce sub batiu un alt reazem de înălțime mai mare, astfel încît acesta se intre strîns între batiu și masa mașinii. Pentru aceasta este necesară o trusă de prisme (reazeme) cu diferența de 0,01 mm la înălțime. Se înlătură apoi cricul din punctul *5* și se măsoară distanțele de la masa mașinii pînă la batiu în punctele *6* și *7*, care se află la mijlocul lungimii batiului, notate h_6, respectiv h_7. După aceea, se deplasează cricul în punctul *8*, aproximativ în dreptul centrului de greutate al batiului, și din nou se ridică lent batiul pînă cînd se slăbește unul dintre reazemele *1—4*. Fără să se atingă reazemele, se măsoară a doua oară distanțele de la batiu la masa mașinii în punctele *6* și *7*, distanțe notate h'_6, h'_7. Se aleg cele două prisme cu înălțimile $H_6 = \frac{h_6 + h'_6}{2}$ și $H_7 = \frac{h_7 + h'_7}{2}$, se așază în punctele *6* și *7* și se îndepărtează cricul de sub batiu. În acest moment, întreaga greutate a batiului este distribuită uniform pe cele șase reazeme. Astfel, deformația batiului provocată de greutatea sa proprie, la mijlocul distanței dintre reazemele *1—2* și *6—7* sau *6—7* și *3—4* va fi de 16 ori mai mică decît deformația acestuia la așezarea sa numai pe patru reazeme (*1—4*).

c — O altă particularitate care face să difere operația de finisare de cea de degroșare a postamentului constă în modul de fixare a batiului pe masa mașinii. La operațiile de finisare trebuie cu totul evitată posibilitatea deformației batiului sub acțiunea forțelor de strîngere (apăsare). Din această cauză, forțele de așchiere trebuie să fie preluate de reazeme și sistemele de strîngere laterale similare celor din figura 9.4.12, *a* și *b*.

d — Alegerea procedeului de prelucrare de finisare a postamentului batiurilor (rabotare, frezare, rectificare sau strunjire frontală) se face pe baza acelorași considerente și calcule ca și la prelucrarea de degroșare. Deosebirea constă numai în aceea că există mai mult temei a se alege rabotarea în locul frezării, deoarece rabotarea de finisare se poate face cu cuțite cu muchia lată, care permit prelucrarea cu avansuri egale cu $0{,}6l$ la o cursă dublă, l fiind lungimea muchiei așchietoare.

Sculele folosite, în întreprinderile moderne constructoare de mașini-unelte, pentru rabotarea de finisare, sînt cuțitele cu muchia așchietoare lată, îndoite înapoi (fig. 9.4.13, *a*) și cuțitele drepte tot cu muchia așchietoare lată (fig. 9.4.13, *b*).

Cuțitele cu muchia lată îndoite înapoi permit prelucrarea cu regimuri de așchiere mai intense, atît de degroșare cît și de finisare, decît cuțitele

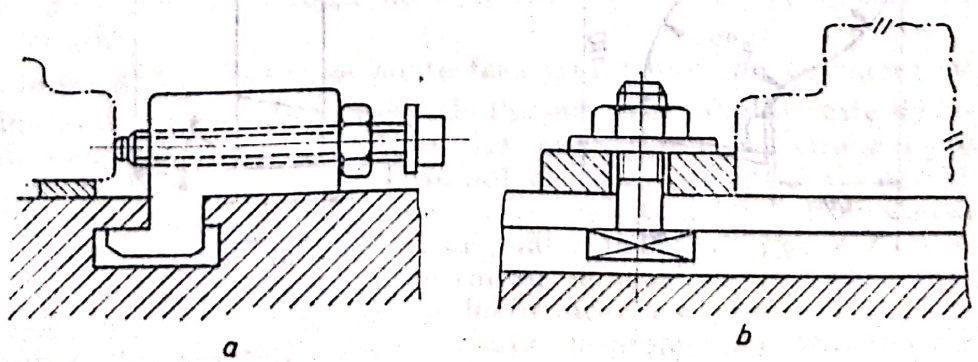


Fig. 9.4.12. Strîngerea laterală a batiului în vederea prelucrării.

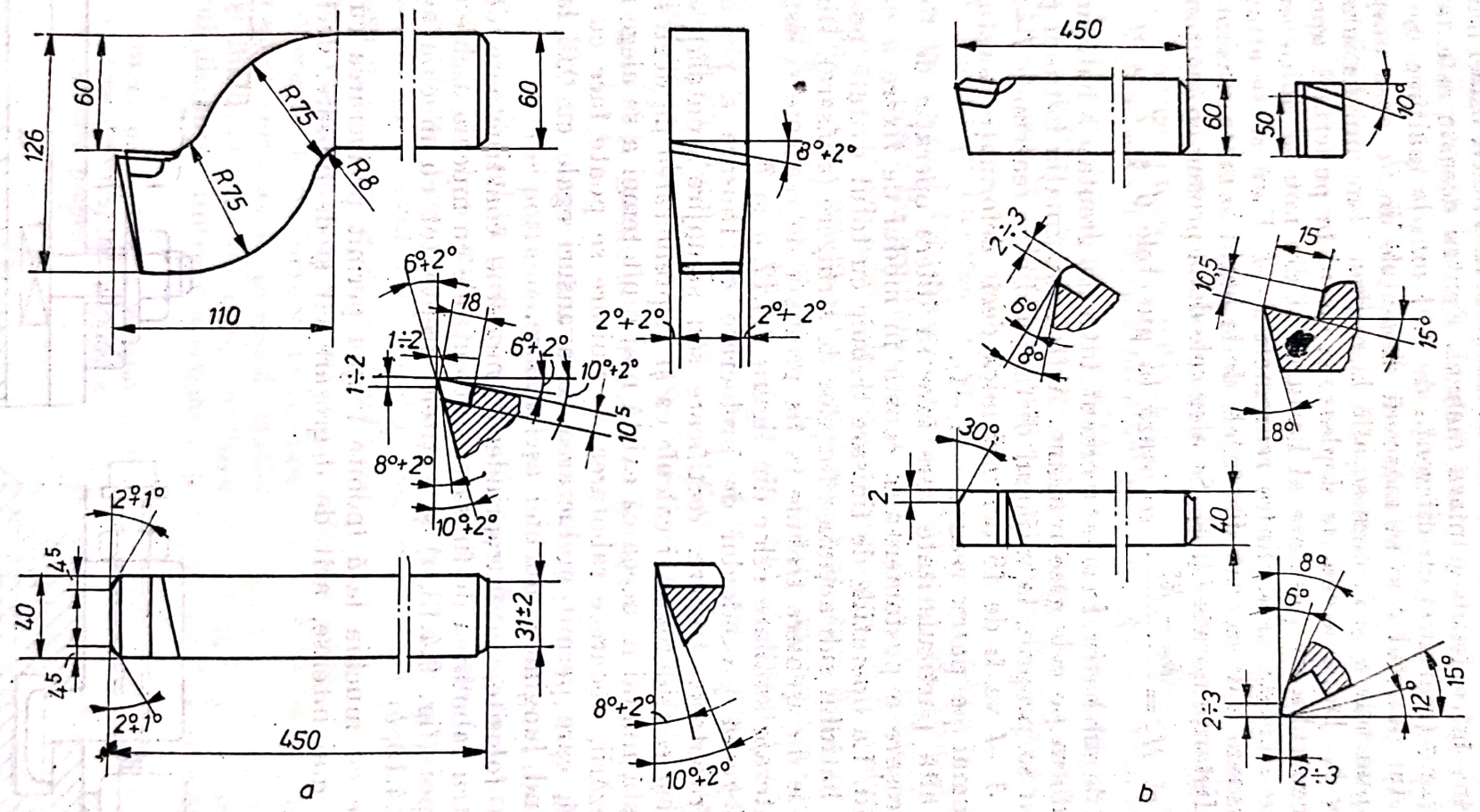


Fig. 9.4.13. Cuțite utilizate la rabotarea de finisare.

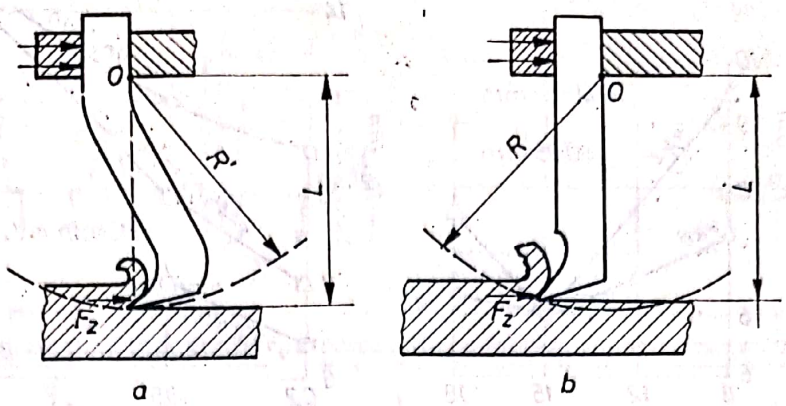


Fig. 9.4.14. Deformațiile cuțitelor la rabotare.

drepte, fără pericolul apariției vibrațiilor în timpul așchierii. În timpul procesului de așchiere, componenta F_z a forței de așchiere produce încovoierea corpului cuțitului, ceea ce face ca vîrful acestuia să descrie un arc de cerc cu raza R' și cu centrul în punctul O, în jurul căruia cuțitul tinde să se rotească (fig. 9.4.14, *a*). Lungimea razei R' este egală cu lungimea L în consolă a corpului cuțitului încovoiat și tangentă la suprafața prelucrată a piesei. La cuțitul drept (fig. 9.4.14, *b*) raza $R > L$, ceea ce face ca vîrful acestuia să pătrundă în piesă mai mult, mărind astfel forța de frecare dintre fața de așezare a cuțitului și suprafața prelucrată a piesei, fapt care conduce la apariția și intensificarea vibrațiilor autooscilatorii. Cuțitele drepte se folcsesc numai atunci cînd lungimea acestora în consolă nu este mai mare de 60 mm. În toate celelalte cazuri se folosesc cuțitele îndoite înapoi.

Rabotarea de finisare cu cuțite late drepte se face din două faze, cu următorul regim de așchiere: $v = (10 \dots 18)$ m/min; $s = (8 \dots 20)$ mm/c.d; $t = (0{,}4 \dots 0{,}8)$ mm, în faza întîi. În faza a doua: $v = (6 \dots 8)$ mm/min; $s = (12 \dots 15)$ mm/c.d.; $t = (0{,}05 \dots 0{,}08)$ mm. Rugozitatea suprafeței prelucrate cu acest regim este $R_a = (3{,}2 \dots 1{,}6)$ μm.

Regimul de așchiere la rabotarea cu cuțite late îndoite înapoi este următorul: $v = (30 \dots 60)$ m/min; $s = (15 \dots 20)$ mm/c.d. și $t = (0{,}2 \dots 1)$ mm.

Influența regimului de așchiere asupra rugozității suprafeței prelucrate este prezentată în figura 9.4.15.

Cuțitele late îndoite înapoi sînt executate din oțel rapid atunci cînd lățimea muchiei așchietoare este mai mare decît lățimea plăcuței de carbură metalică. În aceste cazuri, lățimea muchiei așchietoare poate ajunge pînă la 120—150 mm. Viteza de așchiere cu aceste cuțite este de numai 20—25 m/min.

Rabotarea de finisare se poate face fără răcire sau cu răcire cu petrol.

Timpul de bază la prelucrarea de finisare prin rabotare este de 3—3,5 ori mai mic decît la cea de degroșare. La prelucrarea de finisare a postamentului prin frezare de asemenea timpul de bază este mai mic decît la prelucrarea de degroșare, însă diferența este mult mai mică. Planeitatea suprafețelor prelucrate prin rabotare este mai ridicată decît cea rezultată prin frezare, deoarece rigiditatea suporturilor la mașinile de rabotat este mai mare decît la cele de frezat. Acest lucru face ca erorile de formă care apar în timpul prelucrării să fie mult mai mici la prelucrarea prin rabotare decît la cea prin frezare. În plus, cantitatea de căldură care se degajă în timpul prelucrării prin frezare este de cîteva ori mai mare decît la rabotare și de

Scanned with OKEN Scanner

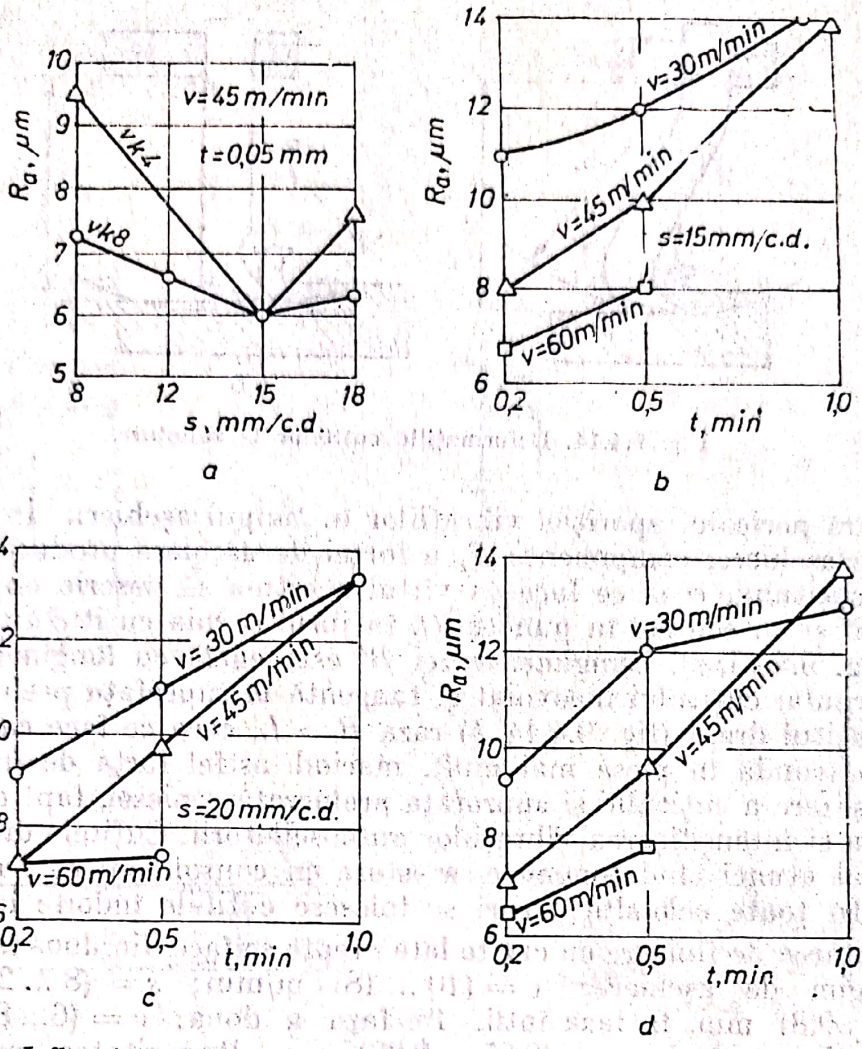


Fig. 9.4.15. Influența regimului de așchiere asupra calității suprafeței prelucrate.

aceea deformațiile termice ale sistemului tehnologic mașină-unealtă-piesă-sculă sînt mai mici la rabotare, iar precizia de prelucrare mai mare.

9.4.1.4. **Prelucrarea suprafețelor superioare și a ghidajelor batiurilor.** Alegerea procedeului sau a metodei de prelucrare de degroșare. În operația de prelucrare precedentă au fost prelucrate suprafețele postamentului și suprafețele plane de pe peretele din față al batiului, care servesc drept baze tehnologice în operațiile de degroșare și finisare a suprafețelor superioare și a ghidajelor. Modul de fixare a batiului în vederea prelucrării a fost analizat în paragraful precedent.

Alegerea procedeului de prelucrare a suprafețelor plane superioare și a ghidajelor nu se deosebește de alegerea procedeului de prelucrare a suprafețelor postamentului. Deosebiri esențiale există în alegerea procedeului de prelucrare și a mijloacelor de determinare a conținutului operației de degroșare și de finisare a ghidajelor.

În cazul batiurilor cu ghidaje circulare nu apar probleme legate de alegerea procedeului de prelucrare a ghidajelor, deoarece este clar, că singurul procedeu posibil de aplicat în acest caz este strunjirea pe strunguri carusel. Particularitatea prelucrării pe strungurile carusel constă în aceea, că spre deosebire de prelucrările pe mașinile de rabotat sau de frezat, nu se poate aplica și folosi trasajul profilului ghidajelor și nici șabloanele pentru regla-

Scanned with OKEN Scanner

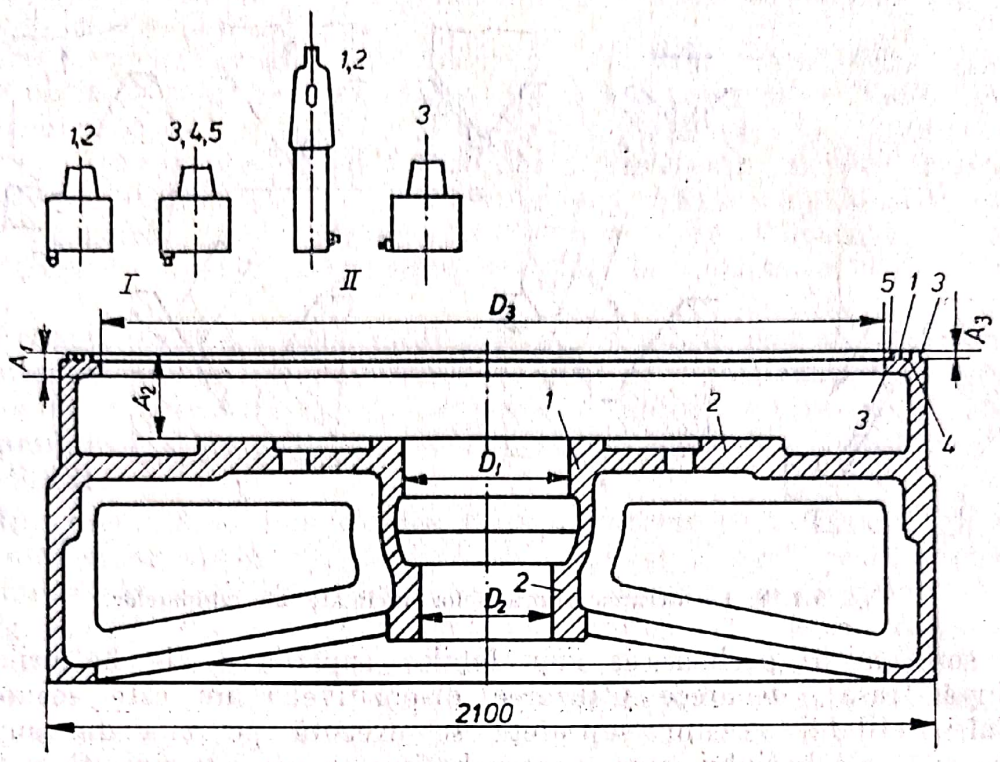


Fig. 9.4.16. Schema prelucrării de finisare a unui batiu cu ghidaje circulare.

rea la dimensiune a cuțitelor. De aceea, muncitorul de la strungul carusel trebuie să aibă un grad de calificare ridicat, întrucît el realizează profilul ghidajelor prin reglarea succesivă a săniilor și prin măsurarea suprafețelor componente ale ghidajelor, în ordinea succesiunii realizării lor.

În figura 9.4.16 este reprezentată schița simplificată a unui batiu cu ghidaje circulare și schema prelucrării de finisare. Numerele *1—5* indică suprafețele și succesiunea prelucrării acestora. Unele suprafețe, după cum se observă în figura 9.4.16, se prelucrează simultan cu sculele notate cu aceleași numere, fixate pe cele două suporturi ale mașinii, *I* și *II*. Literele *A* și *D*, însoțite de numerele respective indică cotele suprafețelor prelucrate și succesiunea prelucrării.

Prelucrarea ghidajelor rectilinii se poate face prin rabotare sau prin frezare. Alegerea unuia din aceste două procedee este mult mai dificilă decît alegerea procedeului de prelucrare a suprafețelor postamentului, deoarece suprafețele respective au un profil complex. Alegerea se face pe baza comparării costului prelucrării, calculat pentru fiecare fază a operației în cazul celor două procedee.

În cele ce urmează se prezintă variantele posibile de prelucrare prin rabotare sau frezare a suprafețelor superioare plane exemplificate pe batiul unui strung paralel (fig. 9.4.17).

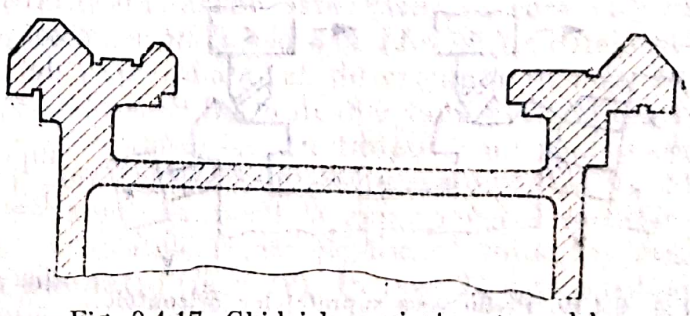


Fig. 9.4.17. Ghidajele unui strung paralel.

9.4.1.4.1. *Prelucrarea de degroșare și finisare prin rabotare.* În producția de unicate

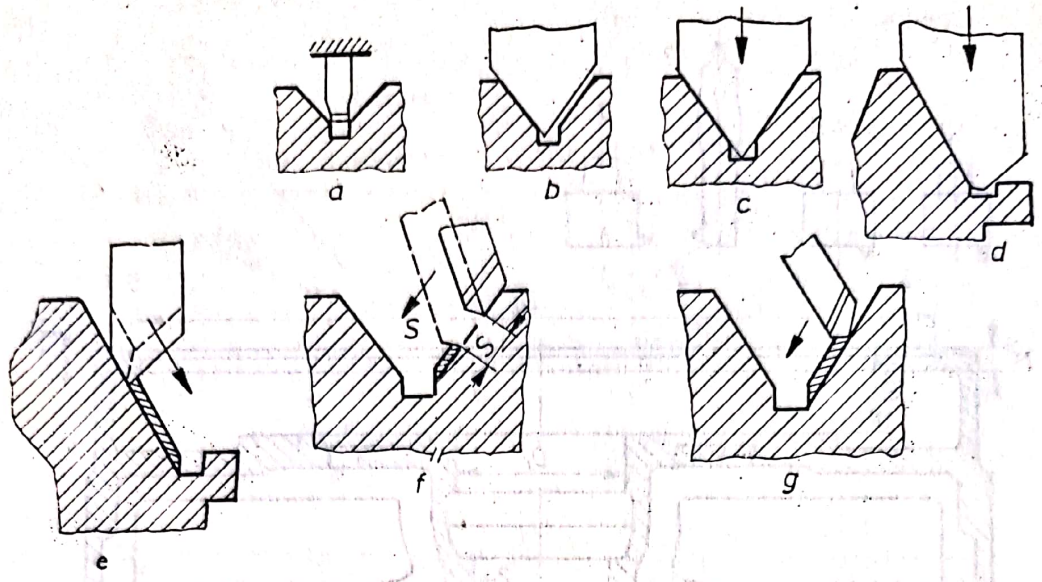


Fig. 9.4.18. Prelucrarea suprafețelor înclinate ale ghidajelor.

și de serie mică, prelucrarea suprafețelor superioare ale batiurilor se face după trasaj, deoarece utilizarea dispozitivelor nu este economică. Trasajul profilului acestor suprafețe se execută pe una din suprafețele de capăt ale batiului, care, pentru batiuri cu precizie ridicată și foarte ridicată, se prelucrează într-o operație precedentă. Succesiunea fazelor operației de prelucrare a suprafețelor superioare nu prezintă o importanță deosebită; aceasta se stabilește avînd în vedere faptul că cuțitele trebuie să se schimbe cît mai rar, iar deplasările în gol ale suporților să fie cît mai mici. Totdeauna, atunci cînd este posibil, trebuie să se prevadă prelucrarea simultană cu doi-trei sau patru suporturi, lăsînd un adaos de prelucrare de 2,5—3 mm pentru operația de finisare. Funcție de dimensiunile batiurilor, pentru mărirea productivității prelucrării în serie și utilizarea cît mai completă a suprafeței utile a mesei pe masa mașinii se fixează două, trei batiuri.

Metodele de degroșare prin rabotare a ghidajelor sînt funcție de profilul și dimensiunile acestora. Suprafețele înclinate ale ghidajelor cu lățimi relativ mici este economic să se prelucreze după executarea canalului de scăpare (fig. 9.4.18, *a*), cu cuțite profilate (fig. 9.4.18, *b*, *c* și *d*). Suprafețele cu lățimi mai mari (pînă la 140 mm) se rabotează cu cuțite late (fig. 9.4.18, *e* și *f*) cu avansul $s = \frac{l}{1{,}1}$ [mm/c.d.], l fiind lungimea muchiei așchietoare. Dacă lățimea suprafețelor ghidajelor este mare, rabotarea se face cu cuțite de rabotat obișnuite, drepte sau îndoite înapoi, cu unghiuri de atac principale și secundare (fig. 9.4.18, *g*).

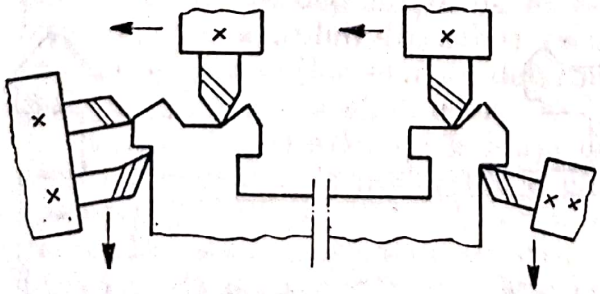


Fig. 9.4.19. Prelucrarea suprafețelor orizontale și a pereților laterali ai ghidajelor.

Simultan cu rabotarea de degroșare a suprafețelor ghidajelor se pot prelucra și suprafețele plane de pe pereții din față și din spate ai batiului, cu cuțite fixate în suporții de pe săniile laterale (fig. 9.4.19).

Regimul de așchiere la rabotarea de degroșare a ghidajelor cu mai multe cuțite simultan, armate cu

Scanned with OKEN Scanner

plăcuțe din carburi metalice este: $v = (15 \ldots 30)$ m/min; $s = (0{,}8 \ldots 1{,}5)$ mm/c.d. și $t = (5 \ldots 15)$ mm.

Cu toate că dimensiunile finale și netezimea suprafețelor ghidajelor nu se obțin la prelucrarea de finisare prin rabotare, totuși toate dimensiunile trebuie să fie realizate destul de precis, deoarece adaosul de prelucrare lăsat pentru operația de prelucrare fină (rectificare, răzuire, rulare etc.) este de numai 0,2—0,4 mm. Precizia impusă rabotării de finisare nu poate fi realizată după trasaj; liniile de trasaj rămase de la operația de rabotare de degroșare servesc numai pentru orientare la reglarea cuțitelor la dimensiune.

Precizia dimensională impusă poate fi obținută prin executarea fazelor operației într-o anumită succesiune și o măsurare sistematică a suprafețelor prelucrate. Succesiunea fazelor care asigură obținerea preciziei dimensionale a suprafețelor superioare ale batiului (fig. 9.4.20) este prezentată în figura 9.4.21.

În primele două faze trebuie să se prelucreze suprafețele de la care se face măsurarea ulterioară și în același timp se „leagă" profilul ghidajelor de suprafețele brute ale batiului, prin dimensiunile de legătură d_{l_1} și d_{l_2} (v. fig. 9.4.20). Deoarece suprafețele plane orizontale trebuie să fie dispuse în același plan, prelucrarea acestora simultană sau succesivă, cu cuțite fixate pe cele două sănii superioare (de pe traversa mașinii) nu este posibilă. Aceste două suprafețe trebuie să se prelucreze succesiv, cu un singur cuțit fixat pe sania superioară din dreapta (*II*). În continuare trebuie să se prelucreze suprafețele B și V_1, succesiunea prelucrării fiind indiferentă.

Apoi se prelucrează prisma din partea dreaptă. Dacă se începea prelucrarea acesteia înaintea suprafețelor O și V_1, atunci ar fi fost posibil să se poată menține dimensiunile e (v. fig. 9.4.20), care definesc înălțimea acesteia și distanța de la vîrful prismei la suprafața V_1. Numai după terminarea prelucrării prismei din dreapta se poate trece la prelucrarea prismei din stînga. Această prelucrare nu se poate începe cu prelucrarea suprafețelor verticale, deoarece dimensiunile L, e și l (v. fig. 9.4.20) sînt legate între ele. Astfel, dacă, de exemplu, la început se prelucrează suprafața V_2, realizînd dimensiunea $L + e$ atunci, la următoarea prelucrare, se va putea obține de-a dreptul numai una din dimensiuni (L sau e), iar cealaltă dimensiune se creează ca element de închidere al lanțului de dimensiuni format, în cazul de față, din trei elemente. De aceea, prelucrarea ghidajului din stînga trebuie să înceapă cu prelucrarea prismei mari. Deoarece prismele mari servesc drept ghidaje ale căruciorului strungului, distanța dintre vîrfurile prismelor trebuie să fie foarte precisă. Din punctul de vedere al ușurinței măsurării dimensiunii amintite, este mai rațional ca prelucrarea prismei din stînga să înceapă cu prelucrarea laturii din dreapta a prismei (faza *8*).

Totdeauna, acolo unde este posibil și nu este periculos, trebuie să se efectueze prelucrarea cu două-trei sau patru sănii simultan. Cazul cel mai puțin periculos de suprapunere a prelucrărilor este cazul în care cuțitul unei sănii are ieșire liberă, ca de exemplu în fazele *3* și *11*. Dacă cuțitele săniilor care lucrează simultan nu au ieșire liberă, ca de exemplu în faza *12*, atunci drumul unuia dintre cuțite trebuie să fie mult mai lung decît al celuilalt cuțit. În acest caz, muncitorul reușește ca, în timpul mult mai mare de lucru al primului cuțit, să efectueze toate mînuirile necesare pentru lucrul celui de-al doilea cuțit. În unele cazuri este posibilă suprapunerea sau efectuarea simultană a prelucrărilor cu cuțitele fixate pe toate săniile mașinii, fără ca toate cuțitele să aibă ieșirile libere (faza *12*). În faza *12* este posibilă

Scanned with OKEN Scanner

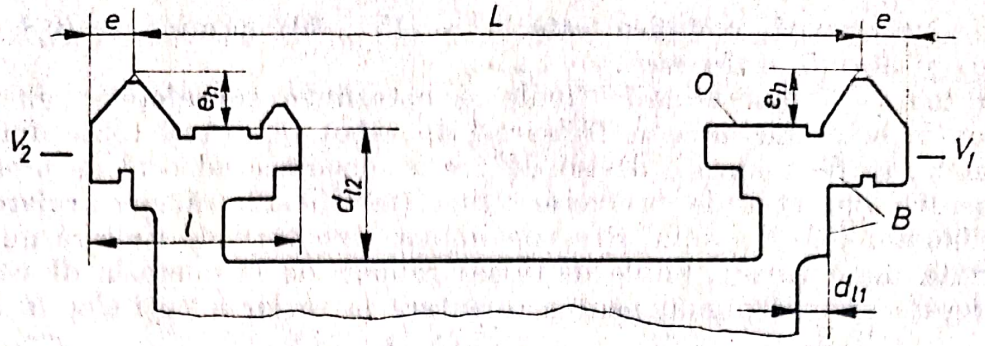
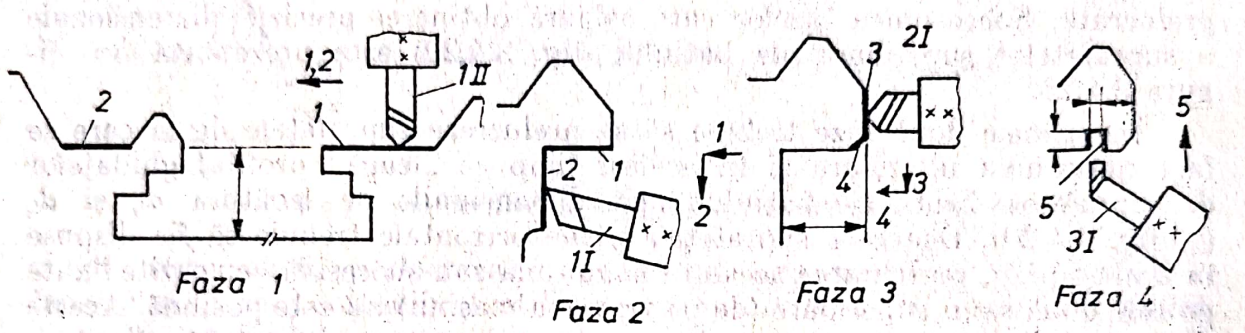
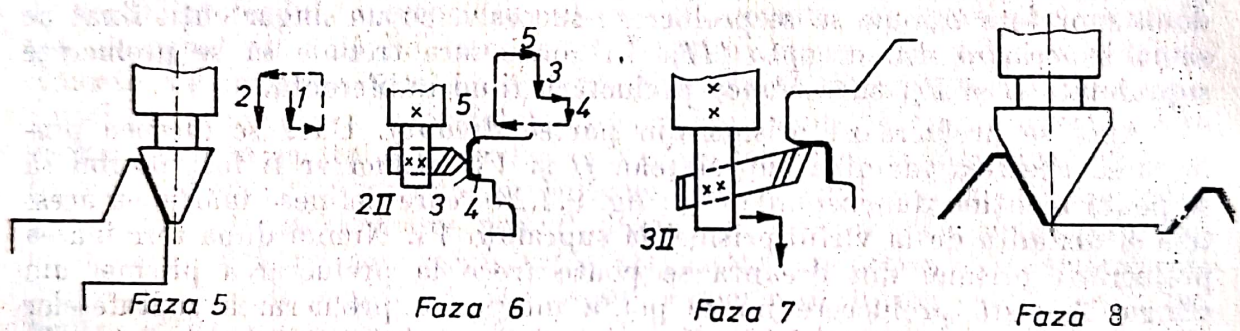
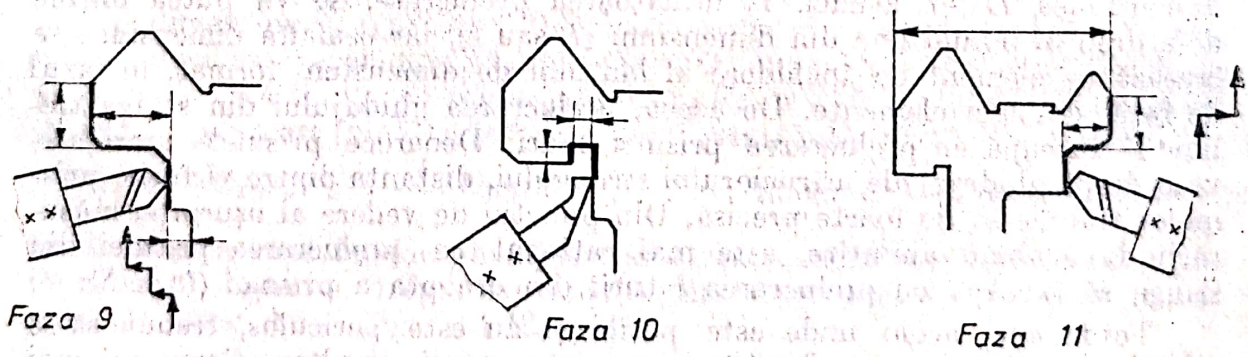


Fig. 9.4.20. Cotarea ghidajelor unui strung.







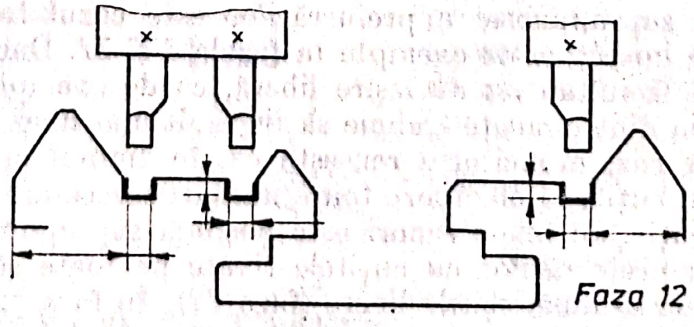


Fig. 9.4.21. Succesiunea fazelor la prelucrarea ghidajelor.

Scanned with OKEN Scanner

efectuarea simultană a tuturor celor trei canale longitudinale cu aceeași adîncime. Muncitorul fixează cuțitele în pozițiile inițiale necesare, pornește mașina și cuplează în același timp avansul vertical al celor trei sănii. La atingerea adîncimii prevăzute a canalelor (după tamburul gradat al uneia din cele trei sănii), muncitorul oprește mașina.

Controlul dimensiunilor ghidajelor se face atît cu instrumente universale de control, cît și cu șabloane speciale (fig. 9.4.22). Pe fiecare șablon este indicată faza și sania pe care este fixat cuțitul cu care se face prelucrarea suprafeței a cărei dimensiune se măsoară. Cu linii groase sînt indicate pe desen suprafețele ale căror dimensiuni se măsoară.

Cu creșterea seriei de piese devine eficientă utilizarea șabloanelor pentru reglarea la dimensiune a sculelor, avînd în vedere următoarele considerente:

a — Utilizarea șabloanelor de reglaj reduce numai parțial timpul auxiliar consumat cu reglarea și măsurarea dimensiunii. De exemplu, la prelucrarea prismelor cu cuțite late profilate cu avans vertical (fazele *4—8*), cu ajutorul șablonului se efectuează doar reglarea cuțitului pentru obținerea unghiului de înclinare a muchiei cuțitului, iar pentru obținerea înălțimii prismei (cota e_h) și a distanței vîrfului acesteia față de suprafețele verticale *V* (cota *e)* nu poate fi utilizat șablonul de reglaj. Cu ajutorul șablonului de reglaj se poate stabili poziția corectă a direcției orizontale a cuțitelor pentru executarea canalelor longitudinale (fazele *9* și *10*), însă adîncimea canalului se poate asigura numai prin măsurare.

b — Utilizarea șabloanelor de reglaj conduce la pierderi suplimentare de timp auxiliar, consumat cu reglarea poziției șablonului față de unele baze de control și cu aducerea mesei mașinii cu batiul în așa fel încît șablonul de reglaj, fixat pe capătul batiului, să se oprească exact în dreptul cuțitului. Această manevră consumă un timp auxiliar relativ mare, dată fiind inerția foarte mare a mesei mașinii. Timpul necesar aducerii mesei mașinii în poziția necesară pentru ca șablonul de reglaj să fie sub cuțit se poate reduce foarte mult, dacă se confecționează șablonul cu o lungime mare, însă această soluție scumpește foarte mult șablonul respectiv.

c — Costul șabloanelor de reglaj este cu mult mai ridicat decît cel al completelor de șabloane de control.

9.4.1.4.2. *Prelucrarea de degroșare și finisare prin frezare.* Prelucrarea ghidajelor prin frezare se poate efectua după patru metode.

Frezarea cu freze standardizate la o singură așezare a batiului pe masa mașinii (fig. 9.4.23). Prelucrarea se poate face pe o mașină de frezat cu două

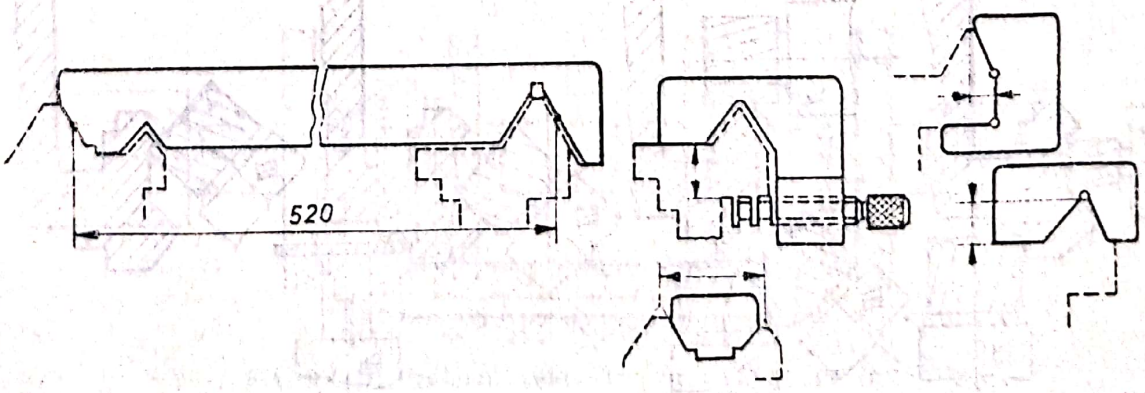


Fig. 9.4.22. Șabloane pentru controlul ghidajelor.

Scanned with OKEN Scanner

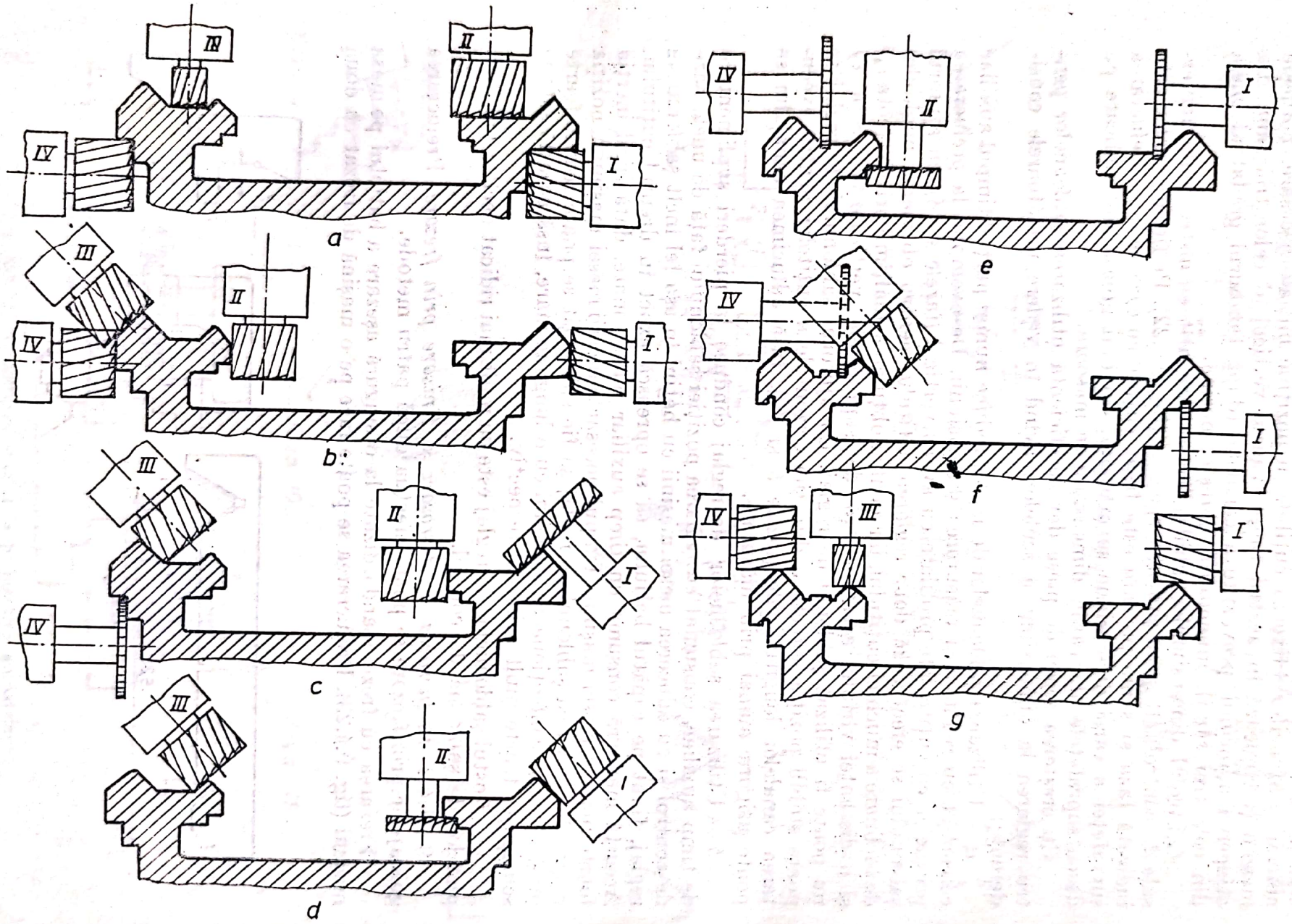


Fig. 9.4.23. Frezarea suprafețelor ghidajelor.

Scanned with OKEN Scanner

coloane și patru capete de frezat. Această metodă de prelucrare necesită un timp auxiliar foarte mare pentru pregătirea și reglarea la dimensiune a mașinii în vederea obținerii preciziei impuse. În afară de aceasta, numărul fazelor operației, egal cu al trecerilor mesei de frezat, este foarte mare (în cazul exemplului egal cu șapte).

După cum se observă și în figura 9.4.23, frezarea se face cu freze cilindro-frontale, care, după cum se știe, se execută din oțel rapid, ceea ce face ca regimul de așchiere să fie scăzut.

Utilizarea capetelor de frezat cu dinți demontabili executați din carburi metalice permite intensificarea regimului de așchiere, dar conduce la creșterea numărului de faze ale operației.

Dacă se face un calcul al costului pe bucată, rezultă că frezarea ghidajelor după această metodă este mai costisitoare decît rabotarea. Rezultatul acestui calcul nu trebuie însă generalizat, deoarece în cazul unor ghidaje mai simple, prelucrarea prin frezare după metoda prezentată este mai economică decît prelucrarea prin rabotare și poate fi aplicată în producția de serie mică.

Frezarea cu freze standardizate în cîteva operații. Succesiunea și conținutul operațiilor diferă puțin de succesiunea și conținutul fazelor operației din cazul metodei prezentate mai înainte (fig. 9.4.23). Deosebirea esențială între aceste două metode constă în aceea că timpul auxiliar consumat cu pregătirea și reglarea la dimensiune a fiecărui cap de frezat se transformă în timp de pregătire-încheiere. Crește foarte mult timpul auxiliar consumat cu transportul batiului de la o mașină la alta și fixarea acestuia în vederea prelucrării la fiecare operație. În cazul exemplului ales, după această metodă de prelucrare numărul operațiilor este egal cu cel al fazelor din metoda precedentă.

La alegerea acestei metode de frezare trebuie să se aibă în vedere faptul că, în acest caz, crește producția neterminată și spațiul neproductiv din ateliere ocupat cu depozitarea și manevrarea batiurilor. Această metodă conduce la rezultate economice pozitive numai în cazul unor serii mari de piese.

Frezarea cu complet de freze speciale. Prelucrarea se efectuează pe mașini de frezat tip portal, cu patru capete de frezat. Pe un ax port freze se fixează completul de frezare, fiind antrenat de la ambele capete de cele două capete de frezat laterale (fig. 9.4.24). Dintr-o singură trecere se realizează întreg profilul ghidajelor, mai puțin cele patru suprafețe plane inferioare marginale și două canale. Deci, ghidajele batiului din exemplul analizat se execută complet în două operații, cu cîte o singură fază. Timpul auxiliar și cel de pregătire-încheiere sînt mult mai mici în comparație cu cele din metodele precedente. Totuși și această metodă are și dezavantaje și anume:

a — Completul de freze reprezentat în figură 9.4.24 este constituit din freze speciale, afară de cele patru freze disc cilindro-frontale care sînt standar-

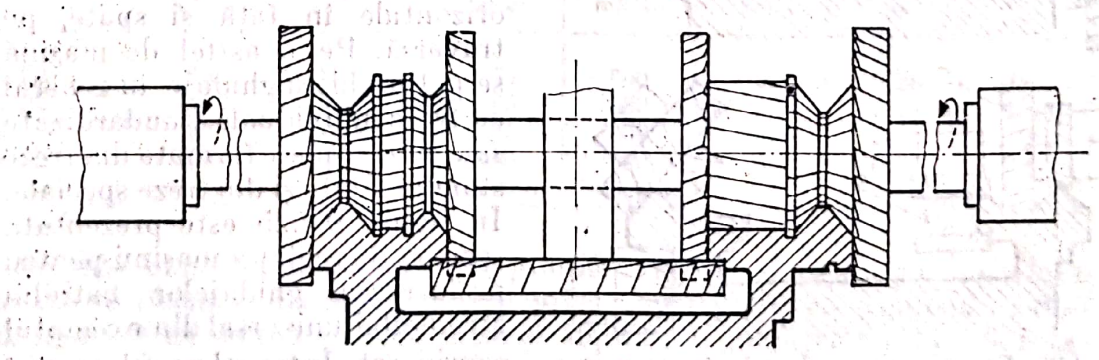


Fig. 9.4.24. Frezarea ghidajelor cu complet de freze.

Scanned with OKEN Scanner

dizate. Celelalte freze, deşi din punct de vedere constructiv sînt asemănătoare cu cele standardizate, totuşi se deosebesc prin dimensiuni. Cu freze standardizate se pot constitui complete de freze numai pentru prelucrarea unor profile de ghidaje foarte simple. Prelucrarea ghidajelor cu profile mai complexe este relativ costisitoare datorită costului ridicat al sculelor speciale.

b — Ascuţirea frezelor componente ale unui complet este mult mai dificilă decît cea a frezelor unitare, deoarece în afară de ascuţirea corectă a muchiilor aşchietoare trebuie să se asigure şi diametrul impus fiecărei freze din complet, pentru a se putea obţine profilul ghidajelor cu dimensiunile şi toleranţele prevăzute. Dacă întîmplător se ştirbeşte vîrful unui dinte al uneia dintre frezele completului, trebuie să se îndepărteze prin ascuţire un strat adînc de metal nu numai de pe freza cu dintele ştirbit ci de pe dinţii tuturor frezelor din complet, pentru a respecta diferenţa dintre diametrele frezelor.

La asamblarea frezelor pe axul portfreze trebuie să se respecte o anumită distanţă între acestea. Deoarece prin reascuţire lăţimea frezelor se schimbă, trebuie ca distanţa dintre freze să se realizeze cu ajutorul unor bucşe cu grosimea corespunzătoare. Deci, va trebui să se dispună de un complet de astfel de bucşe cu diferenţe între grosimi de cîteva sutimi de milimetru. Controlul distanţelor dintre frezele completului de freze trebuie să se facă cu un şablon special. Toate acestea ridică mult costul ascuţirii şi al reglării. Astfel, în cazul exemplului dat, 1 min de lucru al completului de freze este evaluat la aproximativ 0,48 lei, iar manopera pe 1 min este de cca 0,12 lei.

c — Aşa cum se întîmplă frecvent, dacă nu este posibilă constituirea întregului complet de freze numai din freze cu dinţii din carburi metalice şi există chiar numai o singură freză din oţel rapid, regimul de aşchiere trebuie să se calculeze pentru această freză şi deci va fi mult mai redus, mai neproductiv. În afară de aceasta, puterea necesară aşchierii este cu mult mai mare decît în cazul metodelor precedente, deoarece lăţimea şi adîncimea de aşchiere sînt foarte mari şi anume egale cu suma lăţimilor şi a adîncimilor de aşchiere parţiale.

Frezarea ghidajelor cu complet de freze speciale poate fi economică numai în producţia de serie mare a unor profile foarte simple. În multe cazuri, în producţia de serie mică devine avantajoasă utilizarea unor complete foarte simple, formate din freze standardizate.

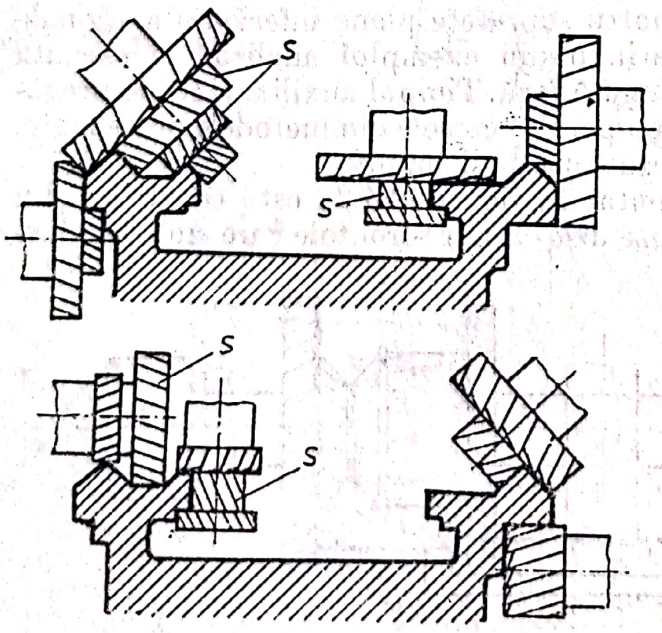


Fig. 9.4.25. Frezarea pe maşini de frezat portal.

d — Frezarea pe maşini speciale de frezat tip portal cu mai multe capete de frezat. Acest tip de maşini de frezat se deosebesc de cele precedente prin aceea că sînt prevăzute cu cîte două capete de frezat pe fiecare coloană, cîte unul în faţă şi în spate şi două orizontale în faţă şi spate, pe traversă. Pe o astfel de maşină se pot prelucra ghidaje, în general cu freze individuale standardizate sau cu complete formate din freze standardizate şi din freze speciale. În figura 9.4.25 este prezentată schema de reglaj a maşinii pentru prelucrarea ghidajelor batiului strungului universal din exemplul considerat. Întregul profil se pre-

Scanned with OKEN Scanner

lucrează în cea mai mare măsură cu freze standardizate (din 19 freze, numai 5 sînt freze speciale — cele notate cu *s*).

Frezarea ghidajelor pe acest tip de mașini speciale de frezat îmbină toate avantajele celorlalte trei metode prezentate și, în plus, nu prezintă dezavantajele acestora: suprafețele principale ale ghidajelor se prelucrează într-o singură operație și o singură așezare a batiului, iar în cazul profilelor foarte complexe în operația a doua se execută doar teșiturile și canalele longitudinale; se utilizează în general numai freze standardizate; este posibilă prelucrarea cu regimuri intense de așchiere, capetele de frezat fiind prevăzute cu motoare electrice puternice; timpul auxiliar este minim.

Această metodă de prelucrare a ghidajelor este foarte economică în producția de serie mare, iar în producție de serie mijlocie metoda este economică atunci cînd loturile de batiuri de același fel lansate în fabricație sînt optime.

Prelucrarea ghidajelor prin frezare asigură o precizie de prelucrare mai scăzută decît cea prin rabotare. Cauzele care conduc la aceasta au fost analizate mai înainte. În plus, în timpul prelucrării prin frezare batiul se încălzește mult mai mult decît în cazul rabotării, astfel încît deformațiile termice ale acestuia nu pot fi de loc neglijate, mai ales în cazul batiurilor lungi. Datorită preciziei mai scăzute care se realizează la prelucrarea prin frezare, în majoritatea cazurilor, prelucrarea de finisare a ghidajelor se face prin rabotare.

Frezarea ghidajelor se poate face și cu capete de frezare cu diametrul de 250 mm, prevăzute cu un singur dinte armat cu o plăcuță din carbură metalică VK2. Rugozitatea suprafeței prelucrate cu o astfel de freză, cu viteza de așchiere $v = 300$ m/min, avansul $s = 0{,}5$ mm/dinte și adîncimea de așchiere $t = 0{,}4$ mm, este egală cu $R_a = 0{,}8/\mu$m, geometria părții așchietoare a dintelui frezei fiind următoarea:

$$\gamma = 5°;\ \alpha = 6°;\ \chi = 45°\ \text{și}\ \varkappa_1 = 0°.$$

În R.D.G. s-au efectuat experiențe încă din anul 1963 privind frezarea de finisare a ghidajelor cu capete de frezat prevăzute cu dinți din plăcuțe mineraloceramice marca KWN și HC-20M. Experiențele s-au efectuat pe o mașină de rectificat ghidaje, cu regimurile de așchiere date în tabelul 9.4.2.

Tabelul 9.4.2

Regimul de așchiere la frezarea ghidajelor cu freze frontale armate cu plăcuțe mineraloceramice KWN și HC-20m

Materialul care se prelucrează	Lățimea suprafeței, mm	Lungimea suprafeței, mm	Diametrul frezei, mm	Viteza de așchiere, m/min	Adîncimea de așchiere, mm	Avansul pe dinte s_z, mm	Durabilitatea, min
GG 22	60	1000	75	600	0,3	0,28	16
GG 22	60	7800	65	600	0,3	0,24	15,6
OLC 60	50	1000	65	600	0,3	0,24	10
GG 22	200	7800	250	600	0,3	0,33	30

Cele mai bune rezultate privind productivitatea și calitatea suprafeței prelucrate se obțin la frezarea în sens invers avansului, cu condiția ca diametrul frezei să fie mai mare decît lățimea suprafeței ghidajelor și axa de rotație a frezei să se suprapună cu axa de simetrie a suprafeței care se prelucrează.

Scanned with OKEN Scanner

În acest caz se asigură o aşchiere cu o grosime constantă a aşchiei, evitînd fenomenul de răzuire la intrarea în aşchie a dinţilor frezei.

Pentru a crea condiţii mai bune de aşchiere, axul principal al frezei trebuie să fie înclinat faţă de normala la suprafaţa care se prelucrează cu un unghi α de numai 2—3°. În acest caz însă apare o uşoară concavitate a suprafeţei prelucrate, care poate fi înlăturată la prelucrarea prin rectificare a ghidajelor.

9.4.1.5. **Prelucrarea suprafeţelor frontale de capăt.** Deoarece suprafeţele frontale de capăt ale batiurilor trebuie să fie perpendiculare pe suprafeţele ghidajelor, baza de aşezare la prelucrarea acestora o constituie ghidajele. De aceea, prelucrarea suprafeţelor frontale de capăt este precedată de prelucrarea ghidajelor.

Procedeele şi metodele de prelucrare a suprafeţelor frontale de capăt ale ghidajelor sînt funcţii în primul rînd de dimensiunile batiurilor. Astfel, batiurile scurte se pot prelucra prin următoarele procedee:

- Rabotare pe maşini longitudinale de rabotat, prevăzute cu doi suporţi laterali sau prin frezare pe maşini longitudinale de frezat tip portal, prevăzute cu doi suporţi laterali. Alegerea unuia din aceste două procedee se face pe baza acelorași calcule care au fost prezentate la alegerea procedeelor de prelucrare a suprafeţelor postamentului. Ambele procedee sînt productive şi asigură precizia impusă, prelucrarea ambelor suprafeţe frontale făcîndu-se simultan din aceeaşi aşezare şi poziţie a batiului pe masa maşinii.
- Frezarea pe maşini orizontale de alezat, întrucît majoritatea acestora au masa rotativă cu un sistem de indexare precisă, se execută din două poziţii succesive, prin rotirea mesei cu 180°. Alegerea acestei maşini se face numai atunci cînd nu se dispune de maşinile menţionate mai înainte, deoarece prelucrarea prin frezare cu aceste maşini duce la pierderea preciziei acestora.
- Pe maşinile de alezat orizontale se pot prelucra şi batiuri mai lungi decît lungimea mesei maşinii sprijinind capătul liber al batiului pe cricuri corespunzătoare, aşezate în afara maşinii. Acest procedeu de lucru necesită un timp auxiliar mare şi, de aceea, se aplică numai în cazuri excepţionale, în producţia de unicate.
- La frezarea pe maşini speciale de frezat frontale, batiul care se prelucrează se fixează pe o placă situată în faţa maşinii. Mişcările de avans (fig. 9.4.26) sînt efectuate de către sania portsculă. Diametrul capului de frezat este de pînă la 1 000 mm, cu dinţii din plăcuţe de carburi metalice, fixaţi mecanic, în spirală sau în trepte, la diferite distanţe de axa de rotaţie a capului de frezat, permiţînd astfel divizarea adîncimii de aşchiere şi realizarea dintr-o singură trecere atît a frezării de degroşare, cît şi de finisare [19].

9.4.1.6. **Prelucrarea alezajelor principale şi a celor de fixare.** Alezajele dispuse pe suprafeţele postamentului, pe suprafeţele superioare şi pe pereţii laterali ai batiului se prelucrează pe maşini de găurit radiale, iar cele dispuse pe suprafeţe frontale de capăt — pe maşini de găurit şi alezat orizontale. În cazul batiurilor grele şi de lungimi mari, aceste ultime alezaje se prelucrează pe maşini speciale de frezat orizontal, la aceeaşi prindere a batiului în care se execută frezarea suprafeţelor frontale de capăt.

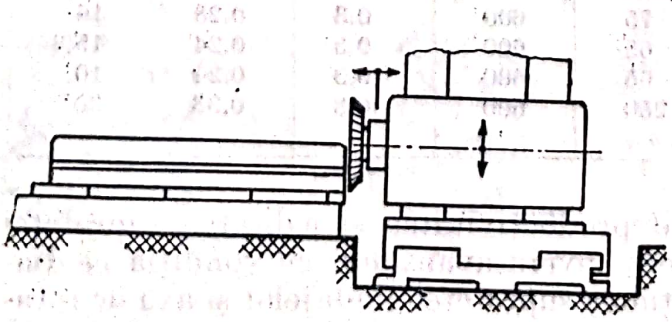


Fig. 9.4.26. Frezarea pe maşini de frezat frontal.

Bazarea batiului trebuie să asigure perpendicularitatea axului

principal a mașinii de burghiat radiale sau a celei de burghiat și alezat orizontală pe suprafețele pe care sînt dispuse alezajele respective. Problema principală care trebuie rezolvată la proiectarea acestei operații este aceea a transportului batiului, care trebuie deplasat în lungul său pentru executarea tuturor alezajelor, deoarece utilizarea unor mașini de burghiat radiale foarte scumpe, cu lungimea mare a brațului nu este deloc rațională. Batiul trebuie, de asemenea, să fie rotit de patru ori în jurul axei sale longitudinale.

Deplasarea longitudinală se poate realiza prin două mijloace: fixînd batiul pe un cărucior care se mișcă pe o „linie ferată" prin fața axului principal al mașinii, sau folosind, pentru executarea alezajelor, o mașină radială de găurit, așezată pe un cărucior, care se mișcă în lungul batiului pe o linie ferată. În foarte multe cazuri însă este mult mai rațională așezarea a două-trei mașini de găurit radiale unele lîngă altele, în așa fel încît zonele de lucru ale acestora să se intersecteze parțial. Suprafețele de lucru ale plăcilor de bază ale mașinilor respective trebuie să se găsească în același plan. Mașinile pot lucra simultan la același batiu, sau independent la oricare altă piesă.

Întoarcerea succesivă a batiului cu ajutorul macaralei pentru executarea alezajelor pe cele patru suprafețe ale sale necesită un consum mare de timp auxiliar; pentru așteptarea macaralei, pentru ridicarea și coborîrea batiului, pentru așezarea corectă a batiului pe masa mașinilor de găurit, mai ales atunci cînd suprafața batiului care servește drept bază de așezare nu este prelucrată. De aceea, chiar și în producția de serie mică, este rațională utilizarea unui dispozitiv rotativ (fig. 9.4.27), format din două păpuși, una fixă, *1*, și alta mobilă, *4*, fixate pe o masă *6*, sudată. Păpușa fixă *1* este prevăzută cu un mecanism de divizare pentru rotirea platoului *2* cu echerul *3*, pe care se așază cu un capăt batiul. Păpușa mobilă *4* se poate deplasa longitudinal, funcție de lungimea batiului de prelucrat. Este prevăzut cu o contragreutate *5* pentru echilibrarea batiului și cu un platou cu echer, pe care se așază celălalt capăt al batiului.

Alezajele principale pentru lagăre cu axele de simetrie paralele cu ghidajele batiului, precum și cele din pereții frontali ai batiului se execută pe mașini de găurit și alezat orizontale.

Poziția alezajelor față de baza sau bazele de control și distanțele dintre axele de simetrie ale acestora se realizează prin trasaj, în producția de unicate și în cea de serie mică, iar în cea de serie mare cu ajutorul plăcilor sau ramelor prevăzute cu bucșe de conducere. Pentru batiuri cu lungimi mari ramele ar avea o greutate atît de mare, încît pentru manipularea acestora ar fi necesară o macara. În aceste cazuri este rațional să se execute rame segmentate și unite prin intermediul unor tije.

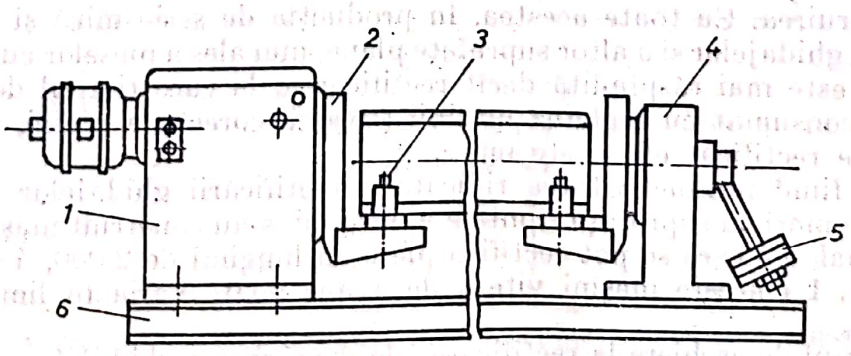


Fig. 9.4.27. Dispozitiv rotativ pentru prelucrarea alezajelor cu batiuri.

Scanned with OKEN Scanner

Majoritatea alezajelor din batiuri sînt alezaje filetate, pentru executarea cărora sînt necesare trei faze: burghiere — teşire — filetare. Mai întîi se execută burghierea alezajelor de pe o parte a batiului cu ajutorul unei rame cu bucşe de conducere. După îndepărtarea ramei, se execută teşirea alezajelor şi apoi filetarea. Se repetă apoi aceleaşi faze, după rotirea batiului în poziţia corespunzătoare.

Pentru reducerea timpului auxiliar, la executarea burghierii tuturor alezajelor, care în general au diametre şi adîncimi diferite, trebuie să se utilizeze mandrine care permit schimbarea rapidă a burghielor, chiar fără oprirea axului maşinii, iar pentru filetare — dispozitive de siguranţă.

Executarea alezajelor de fixare pe agregate speciale cu capete multiax poate fi economică numai în cazul unei producţii mari de batiuri; cheltuielile mari, făcute cu realizarea sau achiziţionarea agregatelor speciale se pot amortiza numai după preluarea a 35 000—40 000 batiuri. Dacă de exemplu, programul de astfel de piese este de 5 000 buc. anual, ceea ce pentru astfel de piese reprezintă o producţie de serie mare, amortizarea agregatelor se poate face numai în 7—8 ani, perioadă relativ mare, dacă se ţine seama de evoluţia contemporană foarte rapidă a progresului tehnic, care impune ca perioada de amortizare a utilajelor să nu fie mai mare de 2—3 ani şi chiar mai mică.

9.4.1.7. **Tratamentul termic de detensionare a batiurilor.** După operaţiile de degroşare şi cele de finisare a suprafeţelor batiului este necesară introducerea în procesul tehnologic de prelucrare operaţia de detensionare, pentru a asigura redistribuirea tensiunilor interne apărute la turnarea sau sudarea batiului, precum şi în timpul procesului de aşchiere. Detensionarea conduce la stabilirea formei geometrice şi a dimensiunilor suprafeţelor prelucrate.

Detensionarea se poate face pe cale naturală sau artificială. Regimul termic de detensionare artificială este funcţie de dimensiunile, respectiv de greutatea pieselor, de forma geometrică şi de precizia impusă de către proiectantul maşinii respective. Detensionarea artificială se face prin încălzirea piesei pînă la temperatura de 460—600° şi menţinerea la această temperatură timp de 12 ore. Răcirea pieselor se face o dată cu răcirea cuptorului în care au fost încălzite piesele, cu o viteză de răcire de 20°C pe oră. Piesele se scot din cuptor la temperatura de 20°C.

O metodă de detensionare artificială modernă (aplicată în Întreprinderea de autocamioane din Braşov), foarte productivă în comparaţie cu metoda prezentată, este detensionarea prin vibrare sau cu ajutorul ultrasunetelor.

9.4.1.8. **Prelucrarea de finisare a ghidajelor batiurilor.** *Prelucrarea de finisare a ghidajelor prin rectificare.* Rectificarea gidajelor este o metodă de prelucrare fină, care asigură atît o precizie, cît şi o calitate a suprafeţei prelucrate ridicate. De asemenea, rectificarea este de 4—5 ori mai productivă decît şăbăruirea. Cu toate acestea, în producţia de serie mică şi individuală şăbăruirea ghidajelor şi a altor suprafeţe plane, mai ales a pieselor cu dimensiuni mai mici, este mai răspîndită decît rectificarea, la care timpul de pregătire-încheiere consumat cu reglarea maşinii (fixarea corectă a piesei, schimbarea discului de rectificat etc.) este mare.

Dată fiind productivitatea ridicată a rectificării ghidajelor şi suprafeţelor plane mari cu suprafaţa frontală a discului, s-au construit maşini de rectificat speciale pe care se pot rectifica piese cu lungimi de 2 000, 4 000 şi chiar 7 000 mm. La aceste maşini viteza de avans poate varia în limitele 1,5 şi 15 m/min.

Regimul de aşchiere la rectificarea de degroşare a ghidajelor necălite este următorul: $v = 10 \ldots 30$ m/s; viteza de avans longitudinal $v_s = 10$ m/min

Scanned with OKEN Scanner

și adîncimea de așchiere $t = 0{,}04 \ldots 0{,}5$ min/cd, iar la rectificarea de finisare este următorul: avansul longitudinal $s = 2 \ldots 4$ m/min și $t = 0{,}02$ min/cd.

Regimul de așchiere la rectificarea de degroșare a ghidajelor călite este următorul: $s = 9 \ldots 10$ m/min și $t = 0{,}02 \ldots 0{,}03$ mm/cd, iar la rectificarea de finisare: $s = 2 \ldots 3$ m/min și $t = 0{,}01$ min/cd. Viteza periferică a discului de rectificat este ca și în cazul precedent de 10—30 m/s. Adaosul de prelucrare pentru rectificarea ghidajelor călite $z_b = 0{,}04 \ldots 0{,}05$ mm.

În general, la rectificarea ghidajelor mari apare pericolul deformației batiului din cauza deformațiilor termice datorită căldurii mari din zona de așchiere, mai ales la rectificarea uscată. În prezent în multe întreprinderi constructoare de mașini-unelte, rectificarea ghidajelor cu partea frontală a discului de rectificat se face cu o răcire abundentă, cu lichid de răcire care conține 0,25% azotit de natriu și 0,5% trietanolamin. Datorită răcirii forțate deformațiile termice scad foarte mult (de 2 ... 2,5 ori în comparație cu rectificarea fără răcire) și o dată cu aceasta nu mai este necesară deformarea intenționată a batiului mașinii de rectificat pentru compensarea efectului deformației termice asupra preciziei de prelucrare a piesei.

Răcirea cu lichid de răcire este cu atît mai eficientă, cu cît temperatura acestuia este mai mică decît temperatura mediului înconjurător. Diferența de temperatură trebuie să fie de 5—6°, diferență ce se poate realiza ușor dacă lichidul de răcire este în stare pulverizată. În afară de efectul diferenței de temperatură, răcirea cu lichid pulverizat asigură o răcire mai bună a piesei și datorită faptului că moleculele de apă fiind sub presiune străpung perdeaua de vapori în jurul zonei de așchiere și ajung chiar în zona de așchiere, absorbind o cantitate mare de căldură, împiedicînd astfel trecerea acesteia în piesă și evitînd încălzirea și deformarea [26].

De asemenea, deosebit de eficientă este răcirea la rectificare în cazul introducerii lichidului de răcire prin porii discului de rectificat.

Pentru mărirea productivității la rectificarea ghidajelor s-au construit mașini de rectificat cu mai multe capete de rectificat. Pe astfel de mașini rectificarea se poate face simultan atît cu periferia, cît și cu partea frontală a discurilor (bineînțeles nu cu unul și același disc). Schema de reglaj a unei astfel de mașini de rectificat este reprezentată în figura 9.4.28, după care rec-

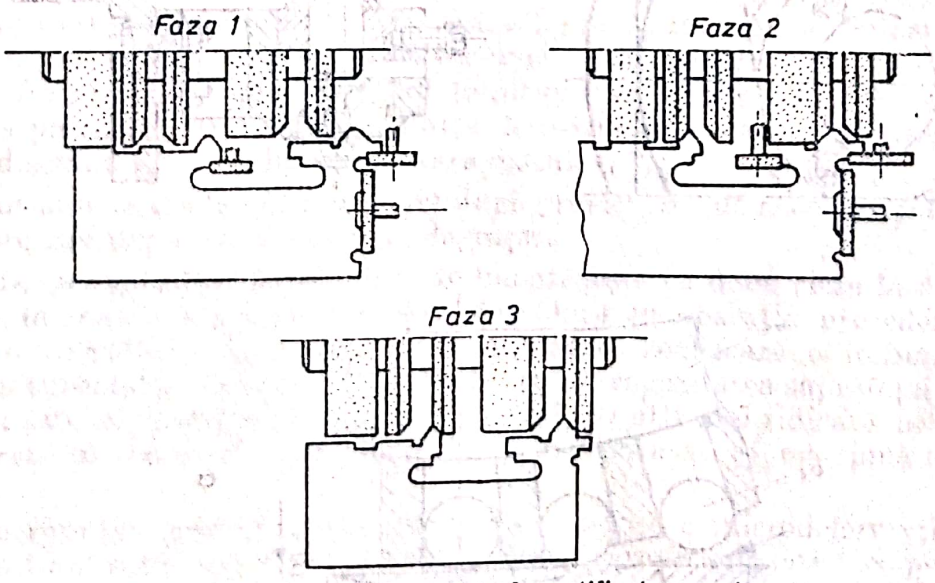


Fig. 9.4.28. Schema de reglaj a mașinii de rectificat cu mai multe capete.

Scanned with OKEN Scanner

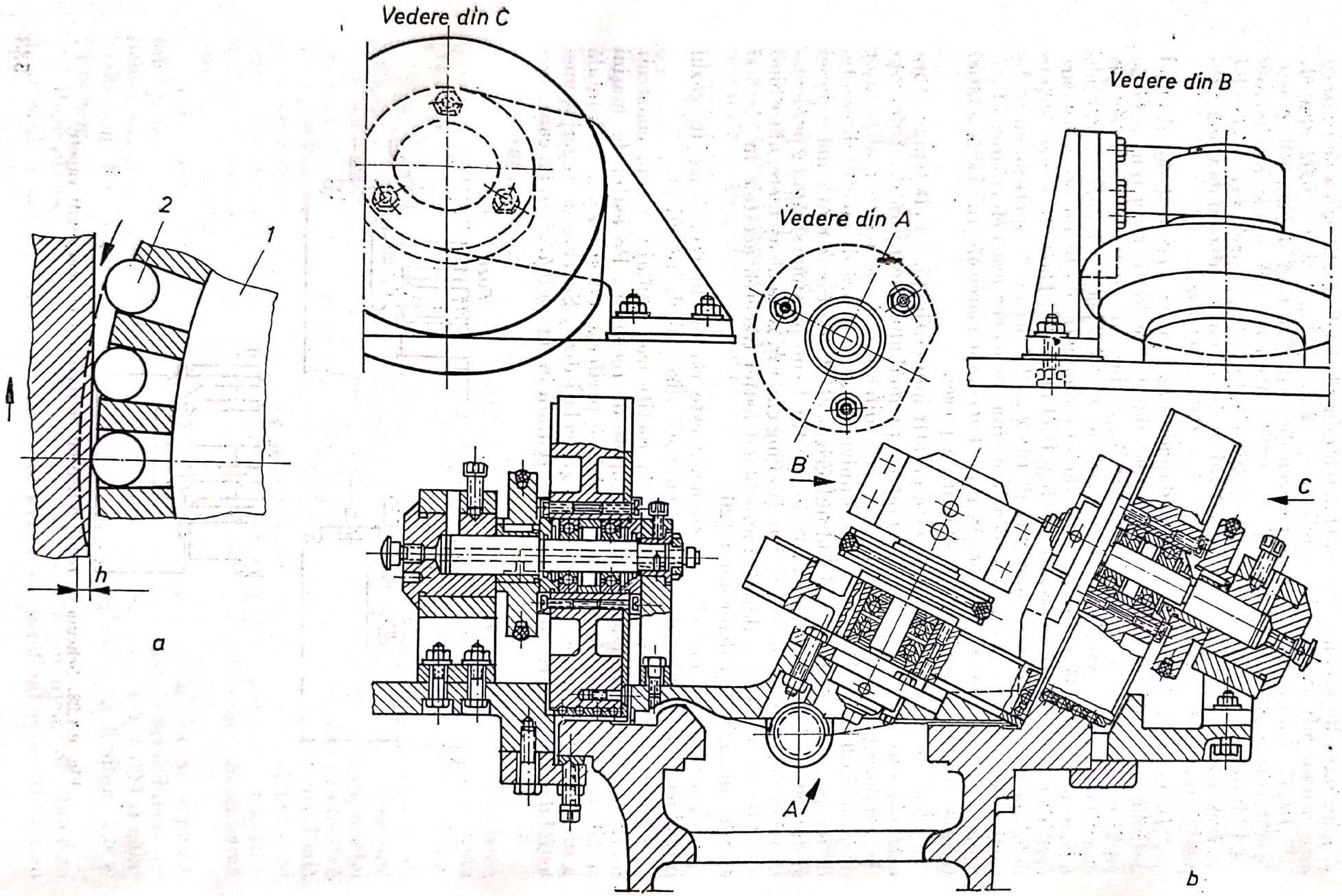


Fig. 9.4.29. Dispozitiv pentru ecruisarea ghidajelor.

Scanned with OKEN Scanner

tificarea se face cu periferia a cinci discuri fixate pe același ax și cu trei discuri cu partea frontală. Rectificarea după această schemă se face în trei faze.

Calitatea suprafeței rectificate atît cu periferia discului de rectificat, cît și cu partea frontală este aceeași; în plus rectificarea cu periferia discului asigură o precizie geometrică mai ridicată de prelucrare. Productivitatea rectificării cu periferia discului de rectificat este mai ridicată cu 30—40% decît a rectificării cu partea frontală.

Prelucrarea de finisare a ghidajelor prin șabăruire sau răzuire. Șăbăruirea sau răzuirea este o metodă de finisare a ghidajelor și suprafețelor plane care asigură o planeitate și rectilinitate pînă la 0,002 mm pe o lungime de 1 000 mm lungime, atunci cînd numărul de puncte într-un pătrat cu latura de 25 mm este de 30. Procesul de șăbăruire este manual și necesită pe lîngă un efort fizic mare și un grad de calificare ridicat.

În ultimii ani șăbăruirea, cu toate că au apărut dispozitive de șăbăruit cu acționare mecanică, pneumatică și electrică, se înlocuiește tot mai mult cu metode de prelucrare fină mult mai productive, ca: rectificarea, frezarea, rabotarea și broșarea. Totuși șăbăruirea nu poate fi înlocuită prin metodele enumerate în următoarele cazuri: la finisarea suprafețelor destinate pieselor cu mișcări relative în mașini și aparate deosebit de precise; la finisarea ghidajelor și meselor pentru mașinile-unelte grele, pentru care nu există mașini de rectificat; la finisarea suprafețelor de alunecare cu forme netehnologice, care nu pot fi prelucrate mecanic prin metodele existente.

9.4.1.9. **Durificarea ghidajelor.** Durificarea ghidajelor este o metodă de ridicare a durității stratului superficial pentru mărirea rezistenței la uzură. Durificarea se poate face pe trei căi, și anume: ecruisarea mecanică a stratului superficial al suprafeței; călire superficială; cromare.

Durificarea mecanică [88], a suprafețelor plane se poate face prin lovire cu bile și prin rulare.

Pentru ecruisarea ghidajelor prin lovire cu bile se poate utiliza un dispozitiv ca cel prezentat în figura 9.4.29 [88]. Partea principală a dispozitivului constă din discul *1* prevăzut cu canale radiale, în care sînt introduse bilele *2* care se pot mișca liber, iar pentru a nu ieși afară, canalele radiale au la capătul dinspre periferia discului un guler cu diametrul puțin mai mic decît diametrul bilelor. În timpul lucrului, discul (fig. 9.4.30), prevăzut cu două rînduri de bile, se rotește cu o turație corespunzătoare unei viteze periferice de 20—30 m/s. Datorită forței centrifuge, bilele sînt împinse spre periferia discului și lovesc suprafața piesei supuse ecruisării. Forța de lovire este funcție de viteza periferică a discului, de masa bilei și de raza discului [89].

Ecruisarea se poate efectua direct după prelucrarea de rabotare și frezarea de finisare sau după rectificarea de degroșare.

Calitatea suprafeței ecruisate se îmbunătățește cu două clase față de cea obținută în operația precedentă ecruisării.Dacă în operația precedentă s-a obținut o rugozitate $R_a = 0{,}8 \ldots 0{,}4$ μm, nu se realizează o îmbunătățire a calității suprafeței ecruisate. În schimb, cu cît rugozitatea suprafeței supuse ecruisării este în operația pecedentă mai mică, cu atît mai ridicată este duritatea stratului ecruisat. Adîncimea stratului ecruisat ajunge pînă la 1,0—1,2 mm.

La ecruisarea ghidajelor prin rulare se produce o microdeformație plastică a stratului superficial al suprafeței piesei. Operația se poate face pe o mașină de rabotat la care, în locul cuțitului, în suportul portcuțite se fixează un dispozitiv simplu cu o rolă din oțel, călită la o duritate HRC = 62 ... 64.

Scanned with OKEN Scanner

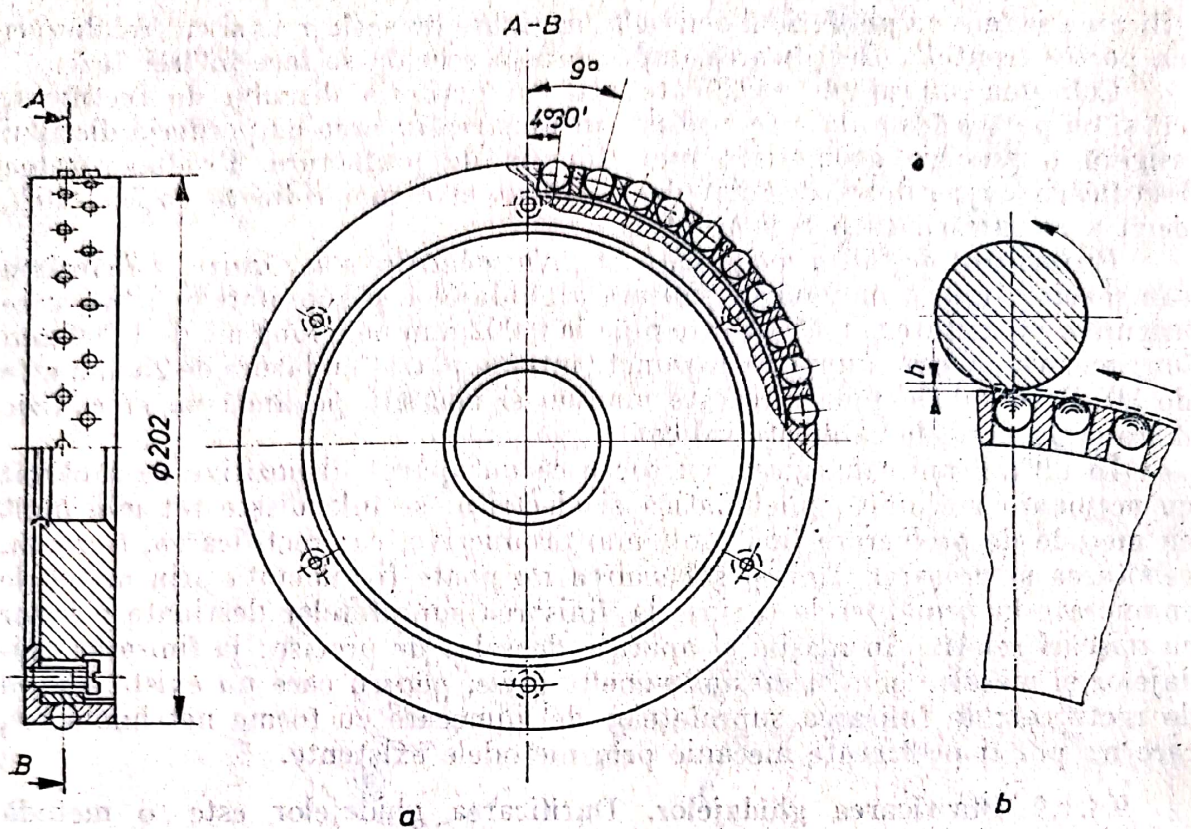


Fig. 9.4.30. Disc cu două rînduri de bile.

Viteza de avans a mesei mașinii este de 40—50 m/min, iar avansul transversal de 1,5—2 mm/cd. Presiunea de contact dintre rolă și suprafața piesei trebuie să fie cuprinsă între 50 și 250 · 10^7 N/m² și este funcție de rigiditatea ghidajului, de diametrul rolei. Ecruisarea se face în prezența unui lichid de răcire-ungere. Cele mai bune rezultate s-au obținut cu petrol, care ridică mult eficacitatea procesului de ecruisare.

9.5. PRELUCRAREA SUPRAFEȚELOR PLANE PRIN FREZARE CU MAI MULTE FREZE SIMULTAN

9.5.1. CALCULUL UNGHIURILOR OPTIME DE DEPLASARE A FREZELOR UNA FAȚĂ DE ALTA

Un proces de așchiere uniform, liniștit prin frezare se caracterizează prin aceea că forțele de așchiere în decursul întregului proces de frezare rămîn constante. O astfel de situație însă este numai de ordin ideal. În realitate încărcarea care acționează asupra frezei se schimbă continuu. De aceea, problema care se pune în fața inginerului tehnolog constă în a face ca procesul de așchiere prin frezare să fie cît mai aproape de cel uniform în toate cazurile reale de prelucrare.

Acest lucru se poate realiza la frezarea cu un complet de freze, fixînd frezele pe arborele port-freze, deplasate una față de alta cu un unghi optim de deplasare care asigură cel mai uniform proces de așchiere.

Scanned with OKEN Scanner

În studiul uniformității procesului de așchiere s-a luat drept caracteristică a uniformității amplitudinea oscilației forței de așchiere, întrucît dă cea mai elocventă reprezentare despre procesul de așchiere mai ales cînd acestea se reprezintă grafic. Luîndu-se forțele de așchiere proporționale cu secțiunile așchiilor se poate considera drept criteriu de apreciere a neuniformității și amplitudinea oscilației secțiunilor așchiilor. După cum s-a dovedit teoretic și experimental o astfel de ipoteză nu dă erori mari, dar simplifică foarte mult calculul unghiurilor optime atunci cînd se constituie completul de freze.

Pe baza celor spuse mai sus, caracteristica uniformității poate fi exprimată prin următoarea relație:

$$A = \frac{P_{max} - P_{min}}{2} = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}, \qquad (9.5.1)$$

unde: P_{max} și P_{min} reprezintă valoarea maximă și minimă a forțelor totale de așchiere; F_{max} și F_{min} — valoarea maximă și minimă a secțiunilor de așchii.

Relația (9.5.1) stă la baza determinării unghiurilor optime ale deplasării frezelor. În cele ce urmează se prezintă calculul unghiurilor optime de deplasare a diferitelor tipuri de freze la fixarea lor pe arborele port-freze.

Prof. *Larin* a studiat teoretic și experimental problema neuniformității așchierii la freze și a ajuns la următoarele concluzii:

1 — unghiul de înclinație al elicei dintelui și numărul de dinți sînt factori foarte importanți care influențează asupra gradului de neuniformitate;

2 — frezarea uniformă asigură o calitate superioară a suprafeței;

3 — cu mărirea gradului de neuniformitate a așchiei durabilitatea frezei se micșorează;

4 — valoarea gradului de neuniformitate a așchiei se resimte foarte puternic asupra posibilității de utilizare a avansurilor maxime admise de mașină și implicit asupra productivității;

5 — oscilațiile forței de așchiere provocate de frezarea neuniformă provoacă o încovoiere a arborelui port-freze care formează valuri mult mai adînci pe suprafața piesei frezate.

Toate acestea se întîmplă atunci cînd frezarea se face cu o singură freză cilindrică.

Frezarea cu freze cilindrice

La frezarea cu freze cilindrice cu dinți elicoidali sau înclinați uniformitatea cea mai mare se obține atunci cînd lățimea suprafeței care se frezează este un multiplu al pasului axial al dinților frezei. În caz contrar, vectorii forțelor se însumează și dau o oscilație variabilă însemnată.

Pe baza unor dependențe matematice prof. *Gronovschi* a dedus următoarea relație a uniformității frezării cu freze cilindrice cu dinți elicoidali:

$$\operatorname{ctg} \omega = \frac{BZ}{\pi D Z_s}, \qquad (9.5.2)$$

unde: ω este unghiul de înclinație al elicei dintelui frezei; B — lățimea suprafeței care se frezează, în mm; Z — numărul de dinți ai frezei; D — diametrul frezei, în mm; Z_s — numărul de dinți care așchiază simultan.

Scanned with OKEN Scanner

La frezarea cu un complet de freze relaţia (9.5.2) rămîne justă dacă frezele au acelaşi diametru şi acelaşi număr de dinţi. În acest caz sub denumirea de lăţime a suprafeţei care se frezează se înţelege suma lăţimilor suprafeţelor aşchiate de fiecare din frezele care compun completul de freze. Relaţia uniformităţii frezării capătă următoarele forme:

$$\operatorname{ctg} \omega = \frac{\Sigma BZ}{\pi D Z_s}, \tag{9.5.3}$$

unde: ΣBZ_s este suprafaţa însumată care se frezează.

Pasul unghiular al dinţilor frezei, după cum se ştie este:

$$\theta_c = \frac{360^\circ}{Z}. \tag{9.5.4}$$

Dacă se scoate din relaţia (9.5.3) numărul dintre dinţi Z şi se introduce în relaţia (9.5.4), se obţine valoarea optimă a pasului unghiular care asigură o aşchiere uniformă a completului de freze:

$$\theta_c = \frac{360^\circ \Sigma B}{\pi D Z_s \operatorname{ctg} \omega}. \tag{9.5.5}$$

La frezarea cu un complet de freze trebuie ca frezele să se fixeze sub un astfel de unghi una faţă de alta, încît dintele unei freze să înceapă să aşchieze înainte ca dintele frezei vecine să fie ieşit din aşchie. Numai în felul acesta se asigură o frezare uniformă. Dacă se îndeplineşte această condiţie la fixarea frezelor pe arborele port-freze, frezarea cu un complet de freze asigură o frezare mai uniformă decît cu o singură freză.

În cazul cînd completul de freze este format din freze cu diametrul diferit, numărul de dinţi diferit, parametrii fiecărei freze în parte se calculează cu relaţia (9.5.2).

Frezarea cu freze disc

Frezele disc pot să aibă dinţii drepţi sau înclinaţi. Înclinarea dinţilor frezelor disc de obicei nu este mai mare de 10—15 grade. Datorită acestui fapt frezarea cu freze disc se caracterizează printr-o neuniformitate foarte pronunţată. Cu cît unghiul de înclinaţie al elicei şi cu cît lăţimea totală sau lăţimea însumată de frezare a frezei este mai mare, cu atît gradul de neuniformitate al frezării scade din intensitate. Lăţimea totală de frezare trebuie să fie un multiplu al pasului axial al dinţilor frezei.

În figura 9.5.1 sînt reprezentate schemele de fixare ale frezelor cilindrice şi disc în complete care asigură o frezare uniformă.

Dacă frezele cu dinţii înclinaţi în aceeaşi direcţie sînt fixate lipit una de alta, atunci elicele lor trebuie să formeze o elice comună, cum se vede în schemele *1* şi *5*. Dacă frezele cu dinţii înclinaţi în aceeaşi direcţie sînt fixate la o distanţă oarecare una de alta, atunci sfîrşitul elicei unei freze trebuie să coincidă cu începutul elicei frezei vecine cum se vede în schemele *3* şi *8*. În cazul cînd frezele care compun completul de frezare au dinţii cu înclinaţii diferite, atunci sfîrşitul unei elice a unei freze trebuie să coincidă cu începutul altei freze la capătul opus, cum se vede în schemele *2*, *4*, *6* şi *7*.

Scanned with OKEN Scanner

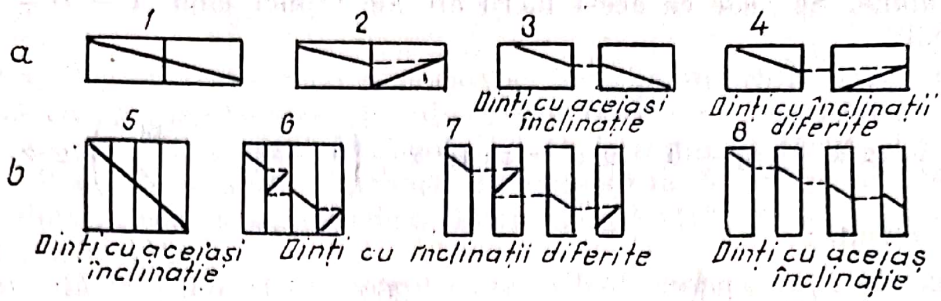


Fig. 9.5.1. Schema de fixare a frezelor:
a — cilindrice; *b* — disc în complete de freze.

La lucrul cu freze disc pot fi constituite complete de freze în trei feluri diferite și anume, complete în care:

1 — frezele au un număr egal de dinți și unghiuri egale de contact cu suprafața piesei care se prelucrează;

2 — frezele au un număr de dinți, însă unghiuri diferite de contact;

3 — frezele au numere diferite de dinți și unghiuri diferite de contact.

În primul caz unghiul optim de deplasare se determină după relația:

$$\theta_c = \frac{360°}{Z_t}, \qquad (9.5.6)$$

unde Z_t este numărul total de dinți al frezelor care lucrează.

Astfel de exemplu, dacă completul de freze este format din trei freze cu cîte 8 dinți fiecare, atunci ele trebuie deplasate una față de alta cu unghiul:

$$\theta_c = \frac{360°}{Z_t} = \frac{360°}{3 \cdot 8} = 15°.$$

În cel de-al doilea caz enunțat (fig. 9.5.2) unghiul optim de deplasare al frezelor una față de alta se poate determina destul de precis matematic. Pentru acest lucru trebuie să se studieze graficul forțelor de așchiere a celor două freze disc *1* și *2* cu dinți drepți în funcție de unghiul de rotație δ al dintelui frezei (fig. 9.5.3).

Forța de așchiere se schimbă după o lege sinusoidală, însă pentru unghiurile de contact folosite în practică sinusoida poate fi înlocuită cu o dreaptă. Se determină unghiul de deplasare al frezei la care forța totală de așchiere

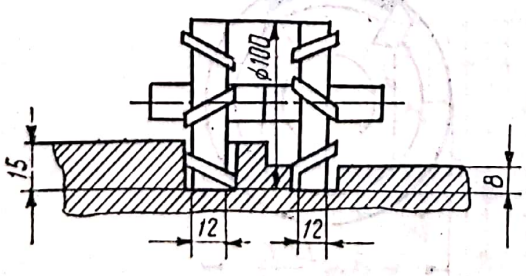


Fig. 9.5.2. Schema de reglaj a unui complet cu două freze care așchiază cu adîncimi diferite.

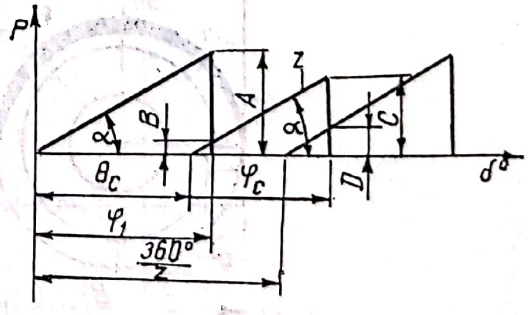


Fig. 9.5.3. Variația forțelor de așchiere funcție de unghiul de rotație δ.

va fi minimă. Se vede că acest lucru are loc atunci cînd $A + B = C + D$ (fig. 9.5.3),
sau

$$\varphi_1 \operatorname{tg} \alpha + (\varphi_1 - \theta_c) \operatorname{tg} \alpha = \varphi_2 \operatorname{tg} \alpha + \left(\theta_c + \varphi_2 - \frac{360^\circ}{Z}\right) \operatorname{tg} \alpha,$$

de unde rezultă:

$$\theta_c = \frac{360^\circ}{2Z} \pm (\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{360^\circ}{Z_{total}} \pm (\varphi_1 - \varphi_2), \qquad (9.5.7)$$

unde φ_1 și φ_2 reprezintă unghiul de contact ale frezelor.

Dacă $\varphi_1 > \varphi_2$, atunci în relația (9.5.7) trebuie să se ia semnul plus, iar dacă $\varphi_1 < \varphi_2$ atunci trebuie să se ia semnul minus. Cu ajutorul relației (9.5.7) se poate calcula unghiul de deplasare al frezelor pentru cazul reprezentat în figura 9.5.2 și anume:

$$\theta_c = \frac{360^\circ}{16} + (44^\circ - 31^\circ) = 35^\circ 30'.$$

Se poate arăta că unghiul de deplasare al frezelor cel mai neavantajos va fi cînd $\theta_c = \varphi_1 - \varphi_2$, întrucît forțele maxime de așchiere de la două freze în acest caz se însumează.

În cazul general cînd frezele au un număr diferit de dinți și lucrează cu unghiuri de contact diferite, unghiul optim de deplasare se determină după metoda grafo-analitică.

Frezarea cu capete de frezat

Curbele de variație ale forței de așchiere la frezarea cu capete de frezat sînt redate în figura 9.5.4.

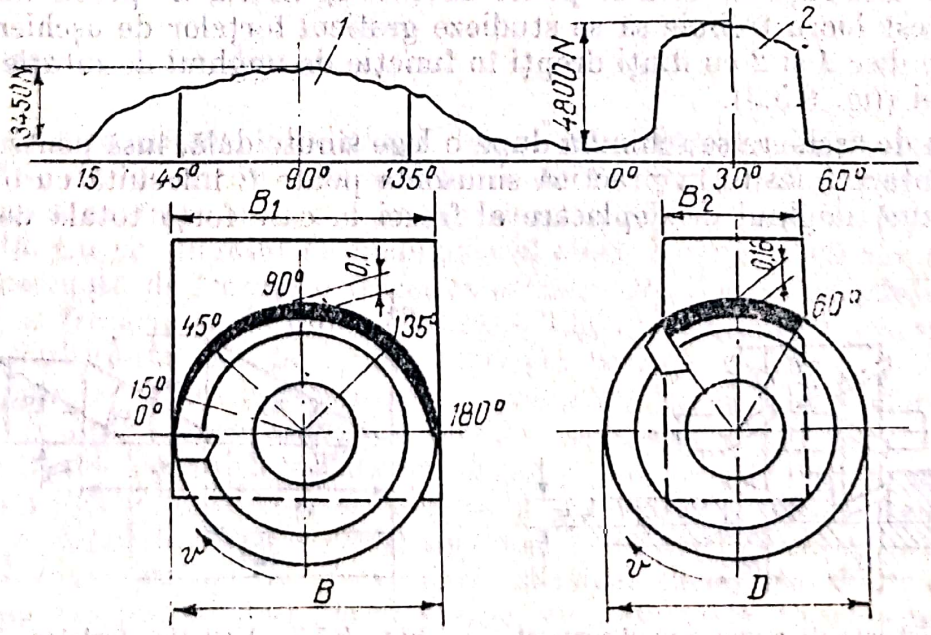


Fig. 9.5.4. Curbele de variație ale forței de așchiere funcție de unghiul de contact al dinților cu piesa la frezarea cu capete de frezat.

Pe oscilograma *1* se vede cum variază forța periferică la frezarea cu cap de frezat cu un singur dinte, cînd diametrul D al frezei este egal cu lățimea suprafeței care se frezează. În cazul de față frezarea s-a făcut cu viteza de așchiere $V = 220$ m/min, adîncimea de așchiere de 8 mm și cu avansul de 0,1 mm/dinte. Geometria părții de așchiere a dinților frezelor a fost: $\gamma = -10°$; $\alpha = 15°$; $\varkappa = 60°$.

Datorită faptului că diametrul frezei a fost egal cu lățimea suprafeței care se prelucrează, dintele a așchiat cu o grosime de așchiere începînd de la zero. De aceea, la început cînd dintele a ajuns în contact cu suprafața piesei, a alunecat un timp și numai după ce a intrat în metal forța de așchiere a început să crească foarte repede. Acest lucru a avut loc pe porțiunea de 0—15 grade din unghiul total de rotație al sculei. Forța de așchiere a atins valoarea maximă cînd dintele capului de frezat s-a rotit cu 90 grade, pentru ca în următorul sfert de drum (de la 90—180 grade) să scadă treptat pînă la zero cînd dintele a ieșit complet din așchie.

Oscilograma *2* indică variația forței de așchiere la frezarea cu același cap de frezat. Lățimea B_2 a suprafeței care se frezează este de două ori mai mică decît în primul caz, iar adîncimea de așchiere s-a mărit pînă la 0,6 mm/dinte. Forma curbei s-a schimbat foarte mult datorită sarcinii mari la care este supus în momentul intrării în așchiere aproape cu adîncimea maximă. La ieșirea din așchie adîncimea așchiei scăzînd brusc, scade și forța de așchiere tot brusc și deci și panta curbei.

Uniformitatea frezării cu capete de frezat la frezarea simetrică se exprimă prin următoarea relație:

$$\frac{B}{D} = \sin\frac{m\,360°}{2Z}, \tag{9.5.8}$$

unde B este lățimea suprafeței frezate: D — diametrul frezei; m — numărul maxim de dinți care se află simultan în așchie.

Frezarea cu freze profilate decurge mult mai uniform decît frezarea cu freze disc cu dinți drepți.

Pe baza studiilor experimentale și teoretice s-a stabilit că uniformitatea cea mai mare cu freze profilate se asigură atunci cînd există un raport precis între pasul unghiular al dinților frezei și unghiul de contact.

În figura 9.5.5 este reprezentată diagrama de variație a diferenței sumei maxime și minime a forțelor de așchiere în funcție de numărul de dinți, pasul unghiular și raportul unghiului de pas și al celui de contact. Frezele cu care s-au făcut experiențele au avut $z = 10$, 16, 24 și 32. Diametrul frezelor a fost

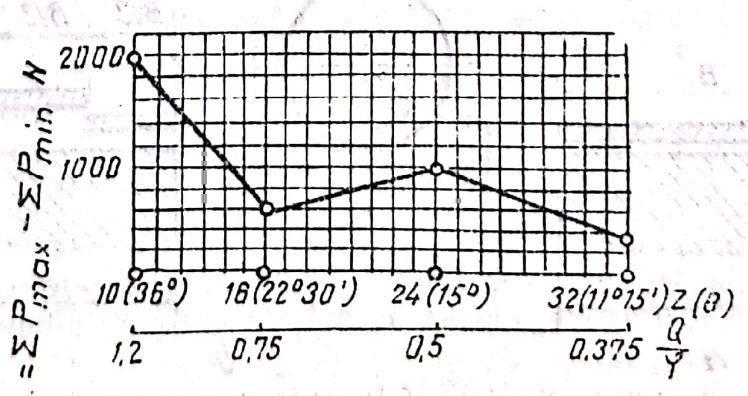


Fig. 9.5.5. Variația diferenței sumei maxime și minime a forțelor de așchiere, funcție de numărul de dinți, pasul unghiular și raportul unghiului de pas și a celui de contact.

Scanned with OKEN Scanner

egal cu 90 mm, adîncimea de aşchiere 6 mm, iar unghiul de contact 30°. Din studiul diagramei rezultă că uniformitatea cea mai mare în timpul frezării corespunde celei mai mici diferenţe a forţelor de aşchiere la frezare cu freze care au $z = 16$ şi 32.

Raportul unghiului de pas şi al celui de contact în acest caz este $\frac{\theta}{\varphi} = 0{,}75$ şi $\frac{\theta}{\varphi} = 0{,}375$.

Determinarea analitică a unghiurilor de deplasare a frezelor la frezarea cu freze cu diferite profile şi dimensiuni este foarte dificilă.

În aceste cazuri această problemă se rezolvă cel mai uşor după metoda grafo-analitică, care este mult mai simplă şi dă rezultate practic destul de precise. Metoda este expusă în [67].

9.5.2. EFICACITATEA FREZĂRII CU UN COMPLET DE FREZE FIXATE DEPLASAT UNA FAŢĂ DE ALTA

Frezarea suprafeţelor plane cu un complet de freze fixate una faţă de alta cu un unghi optim se poate reprezenta schematic ca în figura 9.5.6.

Suprafaţa cu lăţimea B poate fi frezată cu o singură freză cu lungimea mai mare cu cîţiva milimetri decît lăţimea B a suprafeţei care se prelucrează. Dacă se admite un avans pe dinte egal cu S_z, atunci forţa maximă de aşchiere este:

$$P_{max} = CBS_z^k \sin_\alpha^k, \tag{9.5.9}$$

unde C este coeficient constant; B — lăţimea suprafeţei care se frezează, în mm; S_z — avansul de dinte, în mm/dinte; K — exponent; φ — unghiul de contact al unui dinte în metal (de la intrare pînă la ieşirea din aşchiere).

Aceeaşi suprafaţă cu lăţimea B se poate freza divizînd-o în cîteva părţi egale (în cazul reprezentat în figura 9.5.6, în trei părţi), cu freze fixate pe dornurile port-freze cu dinţi deplasaţi cu un unghi oarecare θ_c.

Forţa maximă de aşchiere în acest caz este:

$$P_{n_{max}} = C\frac{B}{n}S_{zn}^k \sin_\varphi^k, \tag{9.5.10}$$

mai mică de n ori decît în primul caz. Relaţia (9.5.10) este justă numai dacă în contact cu piesa se află un singur dinte.

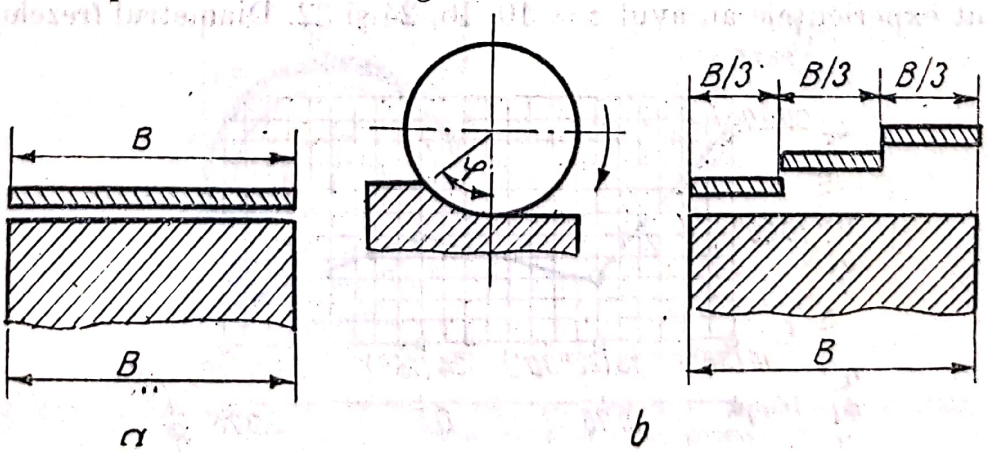


Fig. 9.5.6. Schema frezării simultane a unei suprafeţe plane cu lăţimea B cu un complet de trei freze.

Scanned with OKEN Scanner

La frezarea cu un complet de freze deplasate una față de alta, forța de așchiere se micșorează datorită faptului că în așchie se găsește totdeauna *un singur dinte al uneia din frezele din completul de freze.*

Astfel de exemplu, dacă completul de freze este format din două freze cu cîte șase dinți, iar unghiul de contact al unui dinte al frezei este $\varphi = 20°$, atunci divizînd lățimea suprafeței care se frezează în două, se va găsi în contact cu piesa numai cîte un dinte cu lățimea de două ori mai mică decît lățimea piesei. Dacă completul de freze va fi format din trei freze, lățimea suprafeței se împarte în trei părți egale. Atunci cînd aceste freze se fixează deplasat una față de alta cu unghiul optim θ_c, numărul total de dinți va fi 18 (adică 6×3), pasul unghiular egal cu $\frac{360°}{18} = 20°$, iar unghiul de contact $\varphi = 20°$. În acest caz tot timpul se va găsi în așchie un singur dinte din cei 18 dinți ai completului de freze. Deci, cînd lățimea suprafeței care se frezează este divizată în n părți și în așchie se află tot timpul numai un dinte din numărul total de dinți ai frezelor din completul de freze, forța de așchiere se micșorează de n ori adică $P_n = \frac{P}{n}$.

Cînd în contact cu piesa se află în același timp doi dinți, forța de așchiere este:

$$P_2 = \frac{P}{n} \cdot \left(\frac{\sin^k \varphi + \sin^k \frac{\varphi}{2}}{\sin^k \varphi} \right), \tag{9.5.11}$$

iar cînd așchiază în același timp trei dinți:

$$P_3 = \frac{P}{n} \left(\frac{\sin^k \varphi + \sin^k \frac{2}{3}\varphi + \sin^k \frac{\varphi}{3}}{\sin^k \varphi} \right). \tag{9.5.12}$$

Corespunzător forței de așchiere se micșorează și momentul de torsiune.

Problema poate fi pusă și altfel. De exemplu cu cît se poate mări productivitatea (prin mărirea avansului) la frezarea cu un complet de freze deplasate unele față de altele, în comparație cu frezarea cu o singură freză cu lățimea dinților egală cu lățimea suprafeței care trebuie frezată. Problema se rezolvă plecînd de la relația (9.5.9) și (9.5.10). Deci dacă $P_{max} = P_{n_{max}}$, atunci

$$CBS_z^k \sin^k \varphi = C \frac{B}{n} S_{z_n}^k \sin^k \varphi,$$

de unde se obține:

$$S_z^k = \frac{S_{z_n}^k}{n} \text{ sau } S_{z_n} = S_z n^{\frac{1}{k}} = S_z \sqrt[k]{n}$$

Pentru majoritatea materialelor folosite în construcția de mașini, valoarea exponentului K se poate lua în medie egală cu 0,7. Atunci;

$$S_{Z_n} = S_z n^{1,43}. \tag{9.5.13}$$

Scanned with OKEN Scanner

Relația (9.5.13) arată că la lucrul cu n freze în completul de freze, deplasate una față de alta cu unghiul θ_c, avansul și deci productivitatea prelucrării se poate mări de $n^{1,43}$ ori.

Mărirea avansului se poate face nu numai datorită divizării lățimii suprafeței care se frezează în n părți, ci și datorită micșorării presiunii specifice de așchiere, care după cum se știe se micșorează la așchierea cu așchii groase.

Relația (9.5.13) poate fi reprezentată și grafic (curba *1* din figura 9.5.7). În abscisa diagramei este trecut raportul $\frac{B_n}{B}$ unde B_n este lățimea așchiată de o freză din completul de freze, iar B este lățimea totală a suprafeței care se frezează. În ordonata diagramei este trecut coeficientul de mărire a productivității exprimat prin raportul $\frac{Q_n}{Q}$ și coeficientul de mărire a puterii exprimat prin raportul $\frac{N_n}{N}$ la lucrul cu același unghi.

Curba de variație a puterii s-a construit plecînd de la condițiile de așchiere, care după cum se știe, la mărimea avansului de n^k ori se va micșora presiunea specifică de așchiere de n^k ori.

În cazurile cînd în așchie se găsesc în același timp cîțiva dinți, productivitatea poate să fie calculată după următoarele relații:

1 — pentru cazul cînd consecutiv așchiază doi dinți:

$$CB\, s_z^k \sin^k \varphi = C \frac{B}{n} S_{z n_2}^k \left(\sin^k \varphi + \sin^k \frac{\varphi}{2} \right),$$

de unde:

$$S_{z n_2} = s_z \sqrt[k]{\frac{n \sin^k \varphi}{\sin^k \varphi + \sin^k \frac{\varphi}{2}}}, \qquad (9.5.14)$$

2 — pentru trei dinți care așchiază consecutiv:

$$CB\, s_z^k \sin^k \varphi = C \frac{B}{n} s_{z n_3}^k \left(\sin^k \varphi + \sin^k \frac{2\varphi}{3} + \sin^k \frac{\varphi}{3} \right),$$

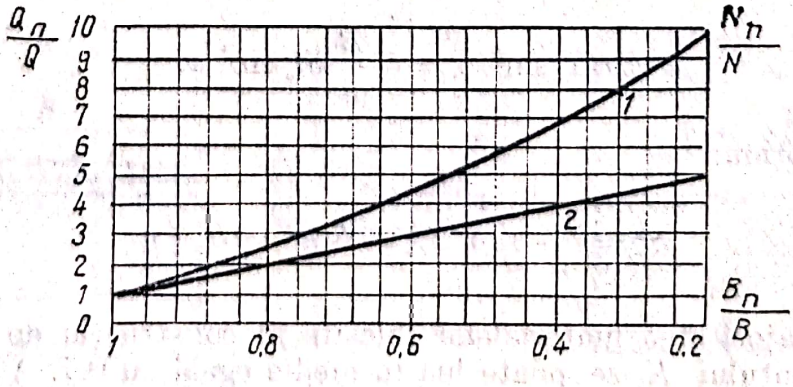


Fig. 9.5.7. Variația raportului productivităților funcție de raportul lățimilor așchiate de fiecare freză din complet.

de unde:

$$S_{zn_3} = S_z \sqrt{\frac{n \sin^k \varphi}{\sin^k \varphi + \sin^k \frac{2\varphi}{3} + \sin^k \frac{\varphi}{3}}} \qquad (9.5.15)$$

Fie de exemplu, să se frezeze trei canale de pană cu un complet de trei freze disc, cu cîte 8 dinți fiecare. Se admite funcție de încărcarea maximă admisibilă a mașinii, avansul maxim pe dinte $S_z = 0{,}05$ mm. Să se determine de cîte ori se poate mări productivitatea dacă frezarea acestor canale se face după metoda deplasării frezelor una față de cealaltă cu un unghi, de exemplu $\theta_c = 15°$. Coeficientul k se ia egal cu 0,7. Pentru cazul cînd în contact cu piesa se găsește un singur dinte ($\varphi = 15°$), doi dinți ($\varphi = 30°$) și trei dinți ($\varphi = 45°$) rezultă după relațiile (9.5.13), (9.5.14) și (9.5.15);

$S_{zn_1} = 4{,}7\, S_z$ (pentru $\varphi = 15°$); $S_{zn_2} = 2{,}6\, S_z$ (pentru $\varphi = 30°$) și $S_{zn_3} = 1{,}5\, S_z$ (pentru cazul cînd $\varphi = 45°$).

În mod similar cu ajutorul relațiilor (9.5.10), (9.5.11) și (9.5.12) se poate calcula de cîte ori se micșorează forța de așchiere în cazul prelucrării celor trei canale de pană cu un complet de freze deplasate unele față de altele.

Datorită micșorării considerabile a forței de așchiere, precum și faptului că așchierea se desfășoară mai liniștit, în acest caz frezarea se poate face în sensul avansului, cu avantajele cunoscute față de frezarea în sens contrar avansului.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 10

TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „PIESE CU SUPRAFEȚE DE REVOLUȚIE ȘI CU MAI MULTE AXE DE SIMETRIE PARALELE“

10.1. PRELUCRAREA PRIN STRUNJIRE A SUPRAFEȚELOR EXCENTRICE ALE ARBORILOR

Problema principală care apare la prelucrarea pieselor (arbori, bucșe etc.) cu suprafețe de revoluție excentrice se referă la modul de așezare, respectiv de fixare a piesei pe mașină sau în dispozitiv în vederea prelucrării. Această problemă se rezolvă în funcție de configurația geometrică și dimensiunile piesei.

Astfel, pe strungurile universale există posibilitatea de a prelucra suprafețele excentrice ale arborilor, fixîndu-le între vîrfuri, în universal sau într-un dispozitiv special.

Strunjirea arborilor cu suprafețe excentrice între vîrfuri se face din mai multe prinderi.

De exemplu, strunjirea arborelui din figura 10.1.1 se face în felul următor: se fixează mai întîi arborele între vîrfuri pe axa de simetrie *1* pentru strunjirea suprafețelor *1*, apoi în a doua prindere se fixează pe axa de simetrie *2* pentru strunjirea suprafeței excentrice *2*.

Unele piese, arbori sau bucșe pentru prelucrarea suprafețelor excentrice pot fi fixate într-un universal cu trei bacuri, sub unul din bacuri așezîndu-se un adaos prismatic cu grosimea A, funcție de mărimea excentricității impuse pe desenul piesei. Prin așezarea adaosului prismatic sub unul din bacurile universalului, axa de simetrie a segmentului cu care piesa se fixează în universal se deplasează din poziția O în poziția N (fig. 10.1.2). Deci, pentru a se putea obține excentricitatea impusă, trebuie să se așeze sub bacul universalului o prismă cu o anumită grosime A, a cărei valoare se calculează în modul următor.

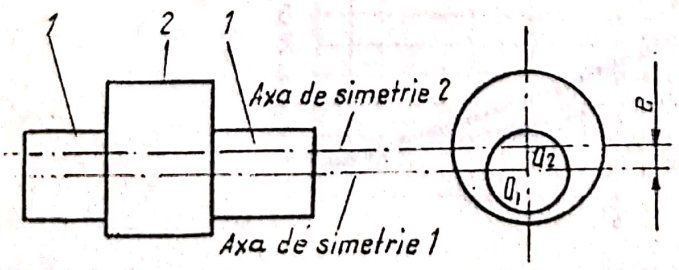


Fig. 10.1.1. Arbore excentric cu două axe de simetrie.

Se observă din figura 10.1.2 că

$$A = R + e - r. \quad (10.1.1)$$

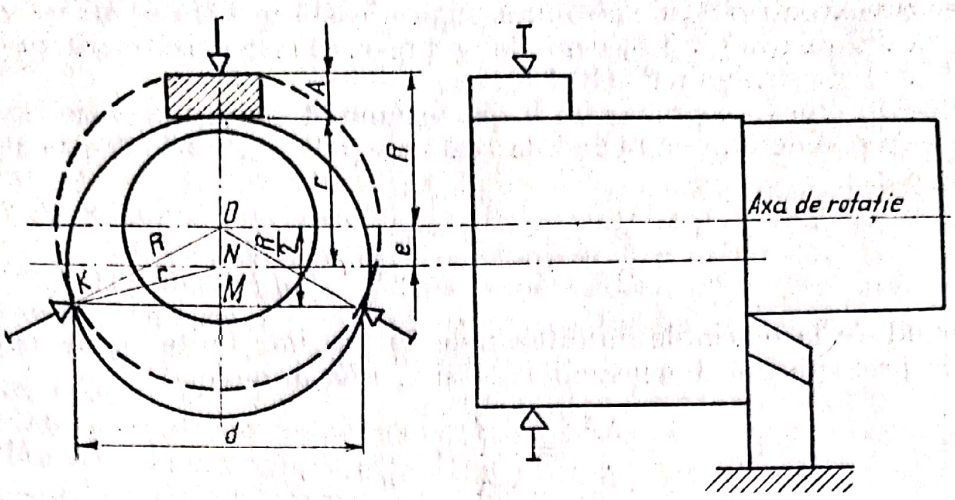


Fig. 10.1.2. Schema strunjirii unui arbore excentric într-un universal cu trei bacuri.

Pentru a se putea calcula cu relația (10.1.1) mărimea A, trebuie să se determine valoarea lui R în funcție de mărimile cunoscute e și d.

Din triunghiul KMO

$$KM^2 = KO^2 - OM^2 = R^2 - \left(\frac{R}{2}\right)^2, \tag{10.1.2}$$

iar din triunghiul KMN

$$KM^2 = KN^2 - MN^2 = r^2 - \left(\frac{R}{2} - e\right)^2. \tag{10.1.3}$$

Deci,

$$R^2 - \left(\frac{R}{2}\right)^2 = r^2 - \left(\frac{R}{2} - e\right)^2 \tag{10.1.4}$$

sau

$$R^2 - Re - r^2 + e^2 = 0. \tag{10.1.5}$$

Rezolvînd ecuația de gradul doi obținută rezultă că una din rădăcinile ei este:

$$R = \frac{e}{2} - \sqrt{r^2 - \frac{3}{4}e^2}, \tag{10.1.6}$$

care dacă se introduce în relația (10.1.1) se obține

$$A = \frac{3}{2}e - r + \sqrt{r^2 - \frac{3}{4}e^2}. \tag{10.1.7}$$

Dezvoltînd în serie radicalul și luînd numai primii doi termeni ai seriei, pe care îi introducem în relația (10.1.7) aceasta din urmă devine:

$$A = \frac{3}{2}e\left(1 - \frac{e}{2d}\right), \tag{10.1.8}$$

d fiind diametrul treptei cu care piesa se prinde în universal și egal cu $2r$.

Scanned with OKEN Scanner

Precizia excentricității e obținută după această metodă de fixare a piesei se observă din relația (10.1.8) depinde de precizia, respectiv toleranța dimensiunii A și a dimensiunii d (10.1.8).

Influența erorii de prelucrare a dimensiunii A asupra preciziei excentricității e se poate determina făcînd derivata parțială a relației (10.1.8) în raport cu e, adică:

$$\frac{\partial A}{\partial e} = \frac{3}{2} + \frac{2 \cdot 3}{4d} e = \frac{3}{2}\left(1 + \frac{e}{d}\right). \tag{10.1.9}$$

Trecînd de la mărimile infinitezimale la mărimi finite, egale chiar cu erorile de prelucrare a dimensiunilor A și e, relația devine:

$$\frac{\Delta A}{\Delta e} = \frac{3}{2}\left(1 + \frac{e}{d}\right). \tag{10.1.10}$$

Considerînd erorile de prelucrare ΔA și Δe egale chiar cu toleranțele δ_A și δ_e ale dimensiunilor A, respectiv e, din relația (10.1.10) rezultă că toleranța excentricității e funcție de toleranța dimensiunii A:

$$\delta_e = \frac{\delta_A}{\frac{3}{2}\left(1 + \frac{e}{d}\right)}. \tag{10.1.11}$$

Asupra preciziei excentricității e în afară de precizia dimensiunii A a adaosului, mai influențează și precizia diametrului d a treptei cu care piesa este prinsă în universal.

Pentru a afla influența toleranței diametrului d asupra preciziei excentricității e se face mai întîi derivata parțială a relației (10.1.8) în raport cu d, adică $\frac{\partial A}{\partial d}$ care este:

$$\frac{\partial A}{\partial d} = -\frac{4 \cdot 3e^2}{16d^2} = -\frac{3e^2}{4d}. \tag{10.1.12}$$

Se face apoi

$$\frac{\partial A}{\partial d} : \frac{\partial A}{\partial e} = -\frac{\partial e}{\partial d} = -\frac{e^2}{2d^2\left(1 + \frac{e}{d}\right)}, \tag{10.1.13}$$

de unde rezultă, admițînd ca și în cazul precedent corespondența dintre mărimile infinitezimale ∂e și ∂d și erorile de prelucrare și Δ_d, respectiv toleranțele δ_e și δ_d a excentricității e și a diametrului d:

$$\delta_e = \frac{\xi^2}{2(1 + \xi)} \delta_d, \tag{10.1.14}$$

dacă se notează $\frac{e}{d} = \xi$.

Dacă toleranța impusă excentricității e pe desenul de execuție a piesei respective este mai mică decît cea reieșită din calculul după relațiile (10.1.11) respectiv (10.1.14), atunci va trebui să se micșoreze toleranțele dimensiunii A și a diametrului d.

Scanned with OKEN Scanner

Din cele prezentate, rezultă că metoda prelucrării suprafețelor excentrice prin fixarea pieselor în universal cu adaos sub unul din bacuri asigură o precizie de prelucrare mai ridicată decît prima metodă. Această afirmație o atestă faptul că la prelucrarea după prima metodă găurile de centrare pe cele două axe de simetrie se execută după trasaj. Precizia care se poate realiza prin trasaj este mult mai mică decît cea care se poate realiza prin rectificarea adaosului prismatic pentru obținerea dimensiunii A în limitele unei toleranțe foarte mici, sau decît aceea, care se poate obține prin strunjirea sau chiar rectificarea la diametrul d în limitele unei toleranțe δ_d oricît de mici a segmentului cu care piesa se prinde în universal.

Domeniul de utilizare economică a acestei metode este desigur producția individuală și sculăriile întreprinderilor pentru executarea diferitelor piese cu precizie ridicată din componența dispozitivelor sau verificatoarelor, pentru care nu este rațională executarea unor dispozitive speciale.

Prima metodă se aplică de asemenea în producția individuală și de serie la prelucrarea pieselor cu precizii mici care se pot realiza prin trasaj.

O metodă mai productivă decît precedentele, cu care se poate obține o precizie de prelucrare foarte ridicată este cea de a treia metodă enumerată mai sus și anume prelucrarea într-un dispozitiv special, a cărei schemă de principiu este prezentată în figura 10.1.3.

Dispozitivul, după cum rezultă din figura dată, este foarte simplu, constînd în mare dintr-un platou *1* fixat pe arborele principal al strungului, prevăzut cu un alezaj situat la distanța e_{min} de axa de rotație a platoului, respectiv a arborelui principal al strungului. În alezajul amintit al platoului intră cepul C al plăcii *2*, care și ea este prevăzută cu un alezaj g situat la distanța e_2 de axa de simetrie a alezajului din platou, respectiv de axa de simetrie a cepului C. Placa *2* în al cărui alezaj se introduce un cep al piesei *3* care se prelucrează, se poate roti în jurul axei de simetrie a alezajului din platou putînd ocupa orice poziție, între pozițiile extreme (figura 10.1.3, *b*).

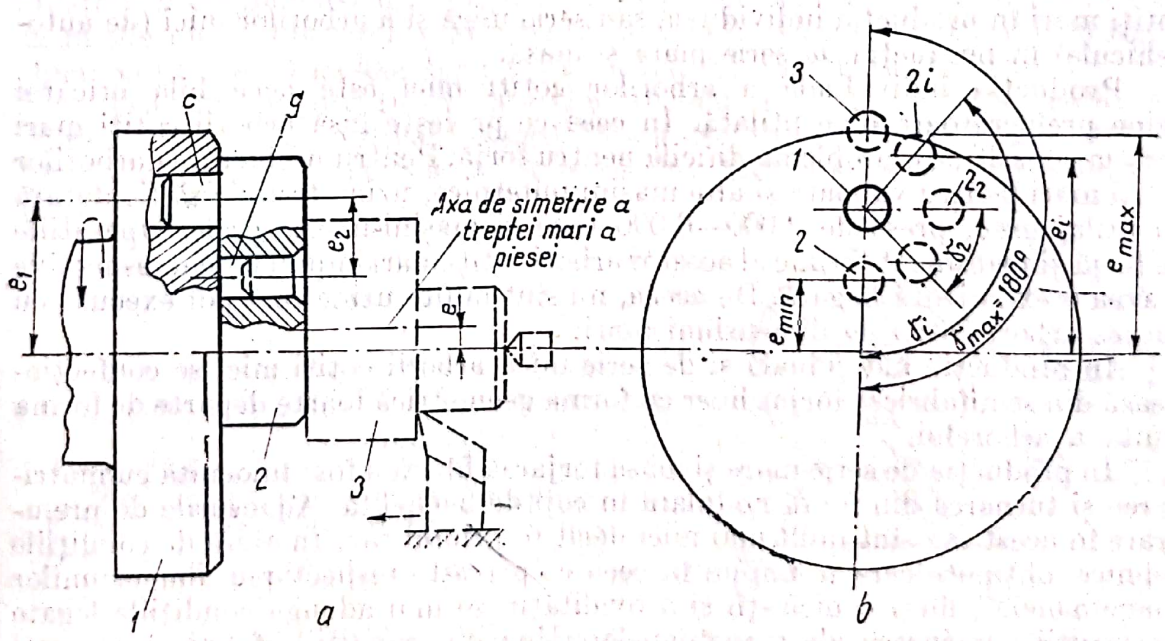


Fig. 10.1.3. Schema de principiu a unui dispozitiv pentru prelucrarea suprafețelor de revoluție excentrice.

Astfel, cînd placa *2* ocupă poziția indicată în figura 10.1. 3, *a*, dispozitivul asigură excentricitatea minimă egală cu

$$e_{min} = e_1 - e_2. \qquad (10.1.15)$$

Dacă placa respectivă se rotește cu 180° în jurul axei de simetrie a alezajului din platoul *1* se obține excentricitatea maximă egală cu

$$e_{max} = e_1 + e_2. \qquad (10.1.16)$$

Rotind placa *2* numai cu un unghi γ_i și fixînd-o în poziția respectivă (vezi figura 10.1.3, *b*) se obține o excentricitate:

$$e_i = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 - 2e_1e_2 \cos \gamma_i}. \qquad (10.1.17)$$

Precizia de prelucrare care se poate realiza cu un astfel de dispozitiv se poate determina făcînd diferențiala totală a relației (10.1.17):

$$\Delta e = \frac{(e_1 - e_2 \cos \gamma_i)\Delta e_1 + (e_2 - e_1 \cos \gamma_i)\Delta e_2 + e_1e_2 \sin \gamma_i \Delta \gamma_i}{\sqrt{e_1^2 + e_2^2 - 2e_1e_2 \cos \gamma_i}}. \qquad (10.1.18)$$

Desigur că dispozitivul respectiv trebuie să fie prevăzut cu posibilitatea de fixare a plăcii *2* în poziția determinată, precum și pentru fixarea piesei supusă prelucrării.

În producția de serie mare și de masă pentru prelucrarea suprafețelor excentrice a arborilor sau a altor piese trebuie să se utilizeze dispozitivele cu excentricitate fixă și cu posibilități de fixare rapidă a piesei în dispozitiv.

10.2. PRELUCRAREA ARBORILOR COTIȚI

Tehnologia de prelucrare a arborilor cotiți depinde de dimensiunile lor și de mărimea seriei sau volumul producției.

În cele ce urmează se prezintă separat metodele de prelucrare a arborilor cotiți mari în producția individuală sau serie mică și a arborilor mici (de autovehicule) în producția de serie mare și masă.

Producția individuală a arborilor cotiți mici este accesibilă oricărei uzine prelucrătoare bine utilată. În ceea ce privește însă arborii cotiți mari aceștia constituie o problemă dificilă pentru forjă. Pentru prelucrarea arborilor cotiți mari pentru vapoare și alte mașini puternice, uzina trebuie să fie dotată cu utilaj greu, prese de 3 000—6 000 tone și mașini-unelte grele. Operațiile de forjă și tratament termic al acestor arbori cotiți mari impun uzinei respective a avea o experiență bogată. De aceea, nu sînt multe uzine care pot executa cu succes arbori cotiți de dimensiuni mari.

În producția individuală și de serie mică arborii cotiți mici se confecționează din semifabricat forjat liber cu forma geometrică foarte departe de forma finită a arborelui.

În producția de serie mare și masă forjarea liberă a fost înlocuită cu matrițarea și turnarea din fontă nodulară în coji de bachelită. Adaosurile de prelucrare în acest caz sînt mult mai mici decît în primul caz. În afară de condițiile tehnice obținute care se impun în ceea ce privește respectarea dimensiunilor manetoanelor, lipsa conicității și a ovalității, se mai adaugă condițiile legate de pozițiile reciproce ale manetoanelor. Una din condițiile tehnice cele mai importante la prelucrare arborilor cotiți este asigurarea paralelismului axelor de simetrie a tuturor manetoanelor în raport cu axa de simetrie a fuselor palier.

Scanned with OKEN Scanner

Succesiunea operațiilor la prelucrarea unui arbore cotit mare, în condițiile producției individuale este următoarea: *1* — trasarea și centruirea; *2* — decuparea brațelor; *3* — degroșarea manetoanelor; *4* — rabotarea brațelor; *5* — degroșarea fuselor-palier; *6* — finisarea fuselor-palier; *7* — finisarea fuselor bielă.

Celelalte operații ca: frezarea canalelor de pană, burghierea alezajelor etc. se fac între operațiile principale enumerate.

Analiza operațiilor principale

Decuparea brațelor cîteodată se face cu flacără oxiacetilenică. Această metodă este rapidă și ieftină, însă se evită întrucît se deteriorează proprietățile fizico-mecanice ale metalului prin încălzirea locală puternică. După tăierea autogenă urmează un tratament termic de recoacere. Mai frecventă decît metoda precedentă este decuparea în stare rece. În acest scop se execută o serie, de alezaje, așa cum se observă în figura 10.2.1, după care urmează mortezarea flancurilor după liniile trasate anterior (reprezentate în figură cu linie plină groasă), și îndepărtarea părții haşurate dublu. Cîteodată această decupare se face prin tăiere cu ferăstraie circulare.

Strunjirea fuselor-palier se face pe strunguri grele. Problema principală care apare la strunjirea arborilor cotiți grei este fixarea lunetelor. Numai arborii cotiți foarte scurți pot fi strunjiți între vîrfuri fără a fi sprijiniți în lunete. La strunjirea arborilor mai lungi apar deformații ale lor nu numai din cauza greutății proprii și a forțelor de aşchiere, ci și din cauza presiunii axiale a vîrfurilor de strung. Ultima cauză este atît de importantă, încît de obicei strunjirea arborilor lungi se face rezemîndu-i doar în lunete fixe. Unul din capătul arborelui se fixează în universal sau platoul cu patru bacuri, iar celălalt rămîne liber (rezemat pe o lunetă fixă). După cum se știe, ovalitatea „gulerului" cu care se reazemă arborele în lunetă se copiază pe întreaga suprafață care se strunjește a arborelui. De aceea, la strunjirea de finisare gulerul respectiv trebuie să fie absolut cilindric. Pentru a exclude ovalizarea, trebuie luate următoarele măsuri: sub arbore (la mijloc) se fixează un cuzinet de reazem (de obicei din lemn), iar cuțitul se fixează deasupra arborelui în așa fel încît să nu treacă de axa verticală a centrelor (vezi figura 10.2.2).

Avansînd cuțitul în direcție transversală se poate în mod treptat înlătura ovalitatea și „gulerul" capătă forma perfect cilindrică. După strunjirea gulerului respectiv arborele se fixează într-o lunetă și se face apoi strunjirea fuselor-palier.

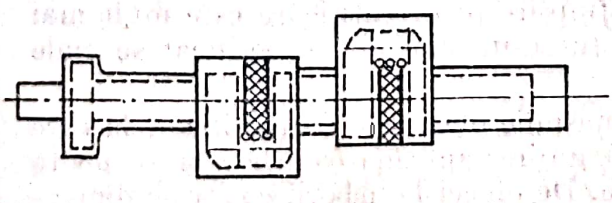


Fig. 10.2.1. Semifabricatul forjat al unui arbore cotit mare.

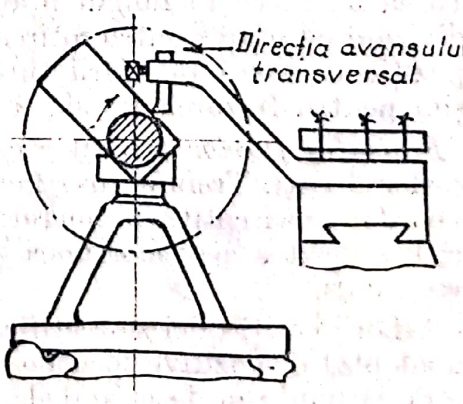


Fig. 10.2.2. Lunetă specială pentru strunjirea unui guler pe fusul palier al unui arbore cotit mare.

Scanned with OKEN Scanner

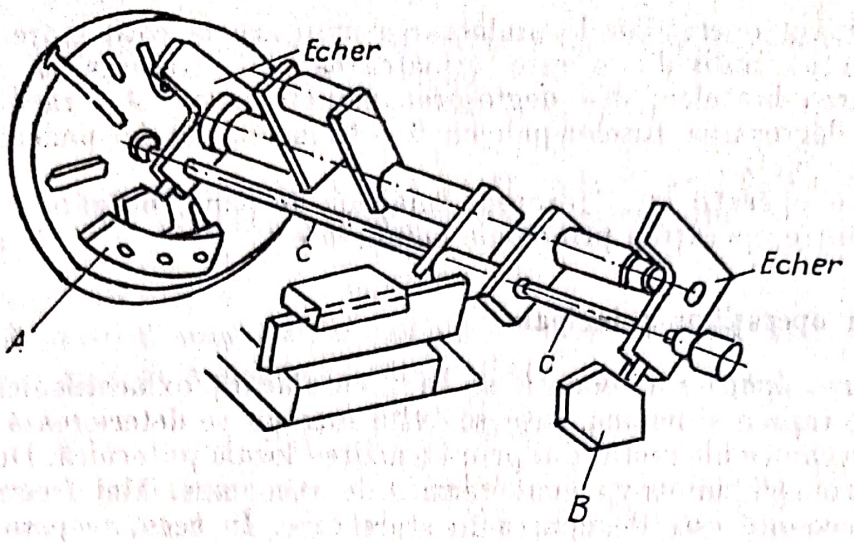


Fig. 10.2.3. Schema strunjirii unui arbore cotit-mare.

Strunjirea fuselor-bielă (manetoanelor) este o operație caracteristică, care cere aplicarea unor metode deosebite de lucru și utilaj special. Dacă această operație se face pe un strung obișnuit, atunci va trebui ca arborele să se fixeze excentric, în așa fel încît axa fusului ce se prelucrează să fie concentrică cu axa de rotație a arborelui principal al mașinii.

În figura 10.2.3 s-a reprezentat schematic strunjirea între vîrfuri a fuselor-bielă a unui arbore cotit cu două brațe. În figura respectivă se văd cele două echere de la capetele arborelui necesare pentru centrarea lui, precum și cele două bare *C* pentru înlăturarea încovoierii arborelui din cauza presiunii vîrfului de strung din păpușa mobilă.

Atunci cînd se strunjesc fusele-palier, se fixează între brațele fusului-bielă de asemenea o bară cu același rol. Se observă că pentru echilibrarea sistemului s-a fixat pe platou contragreutatea *A* iar la capetele celor două echere de centrare, contragreutățile *B*.

La strunjirea pe strung a fuselor-bielă ale arborilor cotiți lungi se folosesc lunete speciale excentrice. La rotirea arborelui în aceste lunete axa de simetrie a fuselor-bielă descrie un cerc cu raza egală cu lungimea brațului bielei.

Rabotarea brațelor în unele cazuri se face pe mașini de rabotat obișnuite la care cuțitul merge în gol întreg spațiul dintre cele două brațe. Există și mașini speciale de rabotat transversal. Arborele stă pe loc, iar cuțitul execută mișcarea de lucru în lungul brațelor. Mașina este prevăzută cu dispozitive de divizare necesare pentru rotirea arborelui cu 90°—120° sau 180° și fixarea lui în poziția necesară rabotării tuturor brațelor. În ultimul timp au apărut mașini pentru frezarea rapidă a brațelor.

Finisarea fuselor arborilor cotiți se face după aceleași metode ca și a arborilor drepți. Trebuie însă făcută observația, că la prelucrarea de finisare a arborilor mari cotiți, prelucrarea de finisare prin rectificare este mult mai îngrădită decît a arborilor mari drepți (necesită mașini de rectificat speciale foarte mari).

Arborii cotiți mici se rectifică pe mașinile obișnuite de rectificat, la care s-au adoptat dispozitive speciale ca la strunjire; antrenarea arborelui se poate face de la unul sau de la ambele capete. De obicei la arborii cotiți de dimensiuni mijlocii se rectifică numai fusele-palier, iar fusele-bielă se strunjesc fin. Dezvoltarea industriei de automobile și tractoare, fabricarea acestora în serie

Scanned with OKEN Scanner

mare și masă, au impus necesitatea îmbunătățirii procesului tehnologic de prelucrare a arborilor cotiți. Arborii cotiți de autovehicule se matrițează sau se toarnă din fontă perlitică cu un adaos de prelucrare relativ mic și se prelucrează prin așchiere numai fusele-palier și bielă. Arborii cotiți din fontă malleabilă perlitică cu 0,025% bismut și 0,03% bor se toarnă în coji, fiind un procedeu mult mai ieftin. La arborele forjat prin așchiere se înlătură 21% din greutatea lui, iar la cel turnat numai 15%.

Prima operație după matrițarea arborilor este sablarea sau citeodată tratarea cu acizi, după care urmează un control minuțios al semifabricatului și un control de duritate. După controlul de duritate urmează îndreptarea la prese speciale de îndreptat. Îndreptarea se repetă în decursul procesului tehnologic după operațiile de strunjire de degroșare și finisare.

Prelucrarea mecanică începe prin retezarea la lungime și centruire. După aceste operații urmează operațiile legate de prelucrarea fuselor-palier și bielă. În majoritatea cazurilor brațele nu se prelucrează. Frezarea canelurilor și burghierea alezajelor de ungere și a celor de fixare se face între diferitele operați de prelucrare ale fuselor-palier și bielă. În condițiile producției de masă se întrebuințează mașini-unelte speciale de mare productivitate. La majoritatea acestor mașini piesele sînt antrenate din două părți. Datorită acestui fapt unghiul de răsucire a arborelui la strunjire este de două ori mai mic. Se întrebuințează de asemenea și mașini speciale pe care piesele sînt antrenate de la mijloc, ambele capete fiind accesibile prelucrării. Într-o măsură mai mare sau mai mică aceste mașini speciale sînt automatizate. Reglarea acestor mașini consumă un timp mare de lucru și de aceea ele se dereglează numai atunci cînd s-a schimbat construcția arborelui.

Prinderea și fixarea arborelui se face în majoritatea cazurilor în universale mari, lungi. La strunjirea fuselor-palier fixarea se face între vîrfuri, iar antrenarea de la mijloc, iar pentru strunjirea fuselor-bielă în aceste universale mari sînt prevăzute bacuri dispuse excentric (cu excentricitatea egală cu lungimea brațului). Momentul de răsucire se transmite prin brațe, care se fixează în bacurile universalului.

Toate mașinile despre care am vorbit pînă acum, după principiul lor constructiv, pot strunji în același timp numai fusele care au axa de simetrie comună, adică nu mai mult de două fuse-bielă deodată. Pentru strunjirea celei de a doua perechi de fuse-bielă trebuie ca arborele să fie fixat pe altă mașină sau pe aceeași mașină însă în alte bacuri de fixare. În ultimul timp au apărut în uzinele constructoare de autovehicule strunguri speciale pe care se pot strunji simultan toate fusele-bielă. Principiul acestor strunguri este cu totul diferit de al strungurilor obișnuite de strunjit arbori cotiți. În figura 10.2.4 este reprezentată schema de principiu a unui astfel de strung.

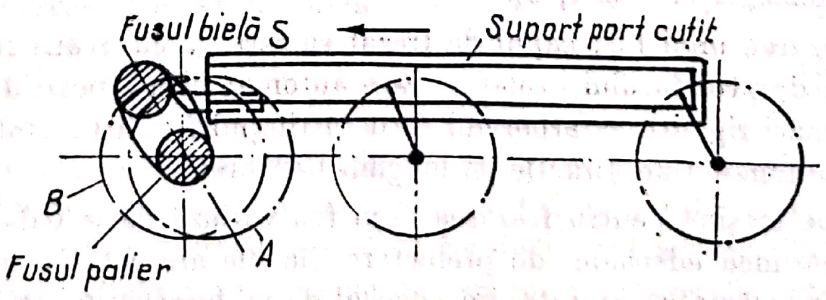


Fig. 10.2.4. Schema de principiu a unui strung special de strunjit fusele bielă ale arborilor cotiți.

Scanned with OKEN Scanner

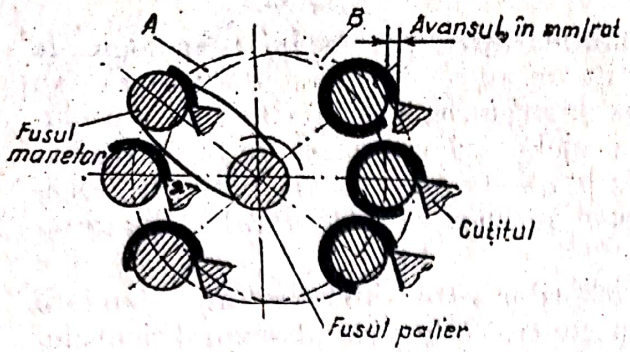


Fig. 10.2.5. Poziţiile cuţitului în timpul unei rotaţii complete a fusului manetou.

Se observă că suportul port-cuţit este antrenat de două manivele cu raza egală cu braţul arborelui cotit. Arborele cotit şi cele două manivele au o mişcare sincronizată. Întregului sistem (celor două manivele şi suportului port-cuţit) i se imprimă mişcare de avans transversal în direcţia S. Muchia aşchietoare a cuţitului la rotirea manivelelor descrie cercul A, iar cercul B reprezintă traiectoria centrului fusului-bielă. Manivela care antrenează suportul port-cuţit şi universalul în care este fixat arborele cotit sînt legate între ele printr-un sistem de roţi dinţate. În figura 10.2.5 este reprezentată poziţia cuţitului în raport cu arborele la diferite poziţii pe care acesta le ocupă în timpul unei rotaţii complete. Astfel, după cum se vede, rotaţia arborelui care se prelucrează şi rotaţia celor două axe ale manivelelor se găsesc tot timpul într-un raport foarte riguros.

Pe un alt strung decît cel descris mai sus prelucrarea fuselor-bielă se face prin frezare. Principiul de lucru este asemănător, în sensul că freza (la fel ca şi cuţitul) urmăreşte traiectoria fusului-bielă şi la o rotaţie completă a acestuia se obţine diametrul impus. Pe acest strung se prelucrează fiecare fus în parte, spre deosebire de strungul precedent, pe care se făcea strunjirea simultană a tuturor fuselor-bielă. După frezarea unui fus capul de frezat se retrage (cu avans rapid) şi se deplasează în dreptul fusului următor, care automat ocupă aceeaşi poziţie faţă de capul de frezat, pe care a avut-o fusul precedent, pentru a se evita reglarea excentricului pentru fiecare fus în parte. Pentru a se mări rigiditatea arborelui cotit în timpul frezării se folosesc lunete fixe în care se reazemă două-trei fuse-palier, funcţie de lungimea arborelui. Timpul de maşină pentru frezarea unui fus variază de la 4,5 min pînă la 13 min, funcţie de mărimea adaosului de prelucrare.

Pe o maşină specială (Heller, G. F. şi altele) cu schema cinematică asemănătoare cu cea a strungului descris mai sus, prelucrarea fuselor palier şi bilă se face prin *frezare*, cu freză disc, cu tangenţă exterioară (v. figurile 10.2.6, *a* şi 10.2.7, *a*) sau cu o freză similară însă cu tangenţă interioară (v. figurile 10.2.6, *b* şi 10.2.7, *b*).

După frezarea unui fus, capul de frezat se retrage cu avans rapid şi se deplasează în dreptul fusului următor, care automat ocupă poziţia de lucru. Pentru a se mări rigiditatea arborelui cotit în timpul frezării se folosesc una sau mai multe lunete fixe, funcţie de lungimea arborelui.

Timpul de maşină pentru frezarea unui fus variază de la 0,6—7,4 min. funcţie de mărimea adaosului de prelucrare (la fiecare rotaţie completă a arborelui se îndepărtează o parte din adaosul de prelucrare. Acest lucru este reprezentat şi în figurile prezentate).

Scanned with OKEN Scanner

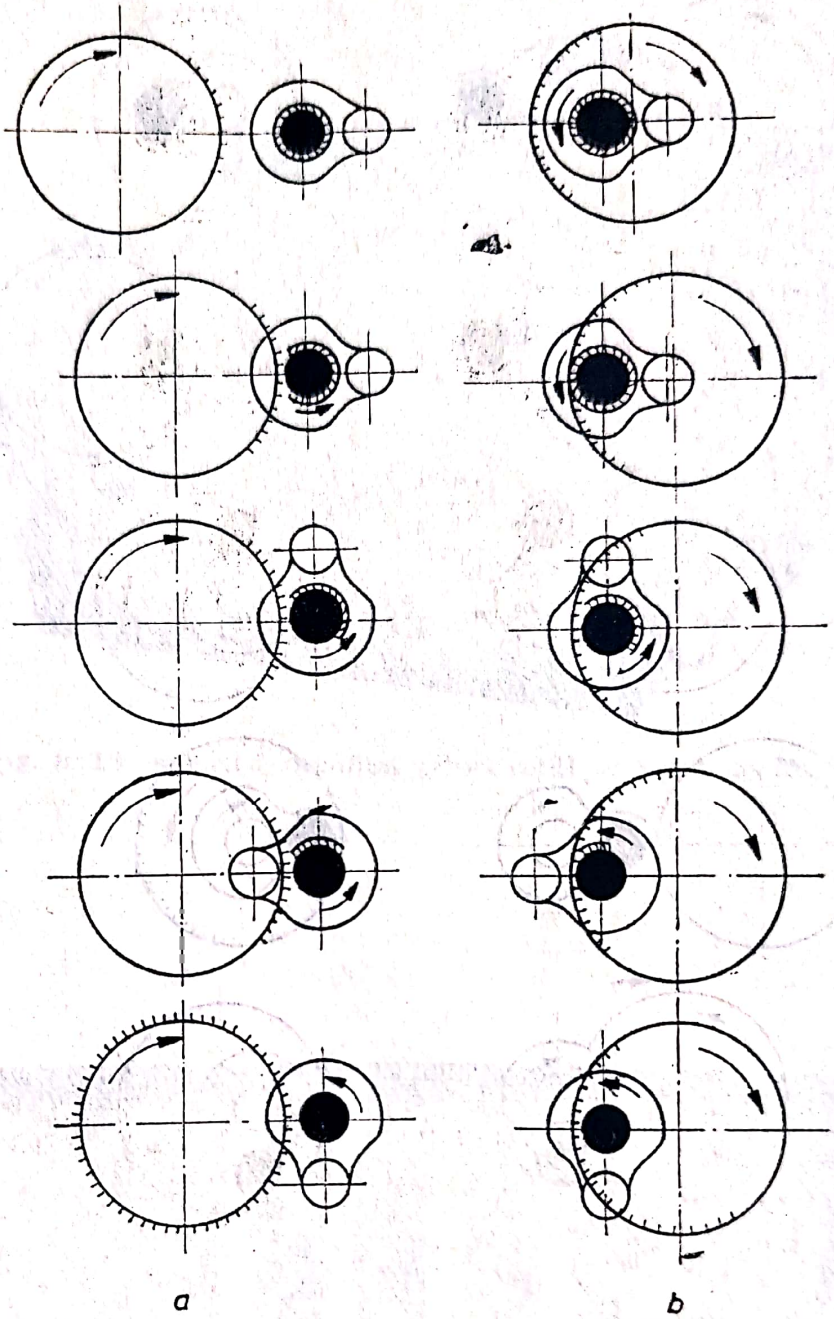


Fig. 10.2.6. Poziţiile fusului palier (reprezentat cu negru) în timpul unei rotaţii complete faţă de freză: *a* — la frezarea cu tangenţă exterioară; *b* — la frezarea cu tangenţă interioară.

Rectificarea fuselor urmează după operaţiile de strunjire. Rectificarea fuselor se divide în două operaţii: rectificare de degroşare şi rectificare de finisare după tratamentul termic de călire superficială cu CÎF. Rectificarea atît a fuselor-palier cît şi a fuselor-bielă se face cu avans transversal. Unele maşini de rectificat au două discuri sau chiar patru discuri de rectificat (fig. 10.2.8 şi 10.2.9) , ceea ce permite rectificarea a două sau trei fuse-bielă simultan, lucru ce ridică foarte mult productivitatea maşinii. Toate maşinile de rectificat arbori cotiţi au aparate pentru măsurarea diametrelor în timpul procesului de rectificare.

Scanned with OKEN Scanner

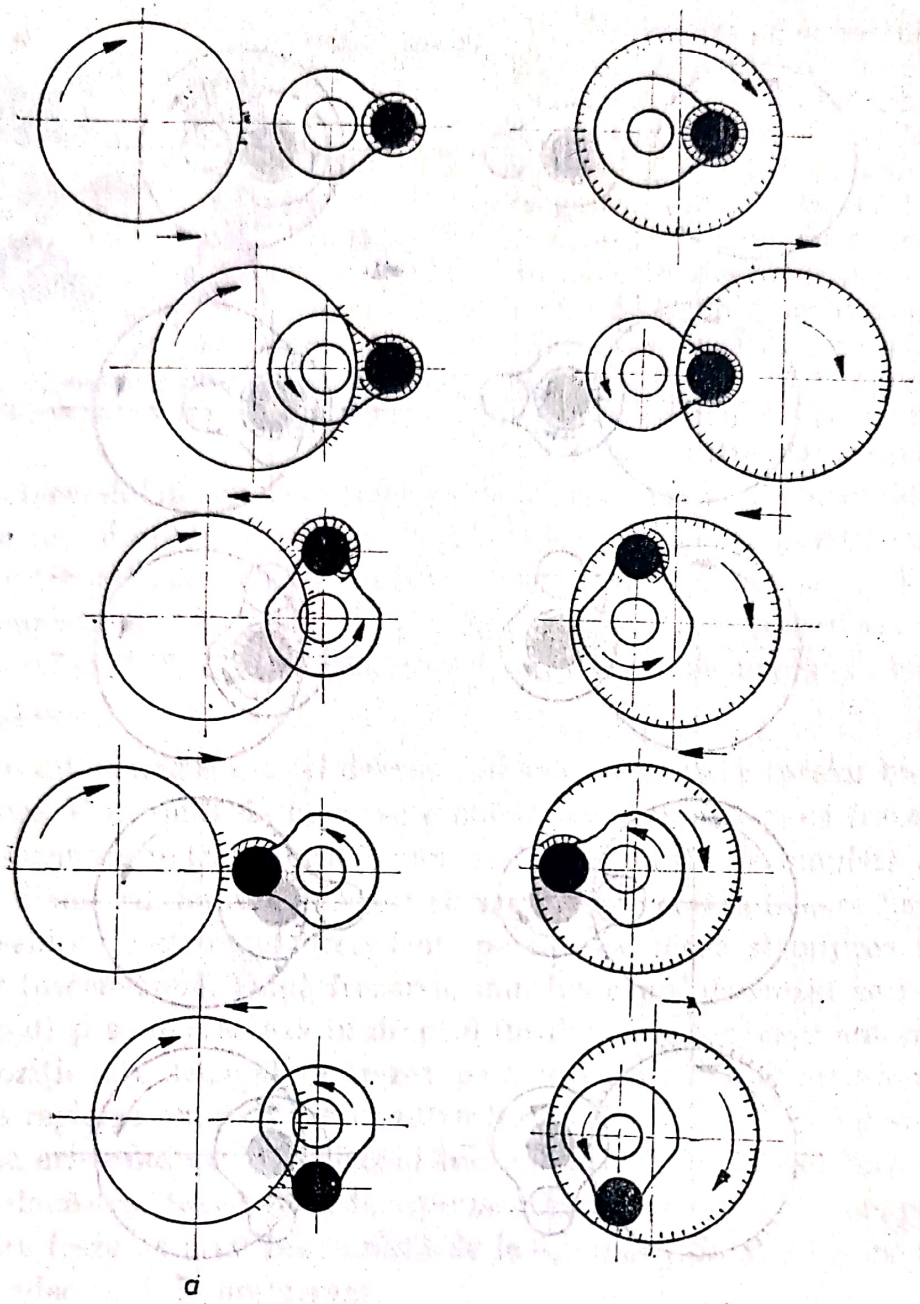


Fig. 10.2.7. Poziţiile fusului bielă (reprezentat cu negru) în timpul unei rotaţii complete faţă de freză; *a* — la frezarea cu tangenţă exterioară; *b* — la frezarea cu tangenţă interioară.

După operaţia de rectificare a fuselor urmează operaţia de superfinisare care se execută pe o maşină specială de superfinisat cu ciclu de lucru automat. Timpul de lucru pentru îndeplinirea acestei operaţii este de un minut. Calitatea suprafeţei în urma rectificării este cuprinsă în clasa a 7-a, iar după superfinisare este cuprinsă în clasa a 4-a ($R_a = 0{,}04—0{,}08$ μm). După această operaţie urmează echilibrarea, controlul fisurilor, demagnetizarea şi în sfîrşit spălarea. O atenţie deosebită se acordă curăţirii găurilor de ungere.

Controlul dimensiunilor şi al paralelismului axelor de simetrie ale fuselor se face în dispozitive speciale cu ajutorul indicatoarelor.

Scanned with OKEN Scanner

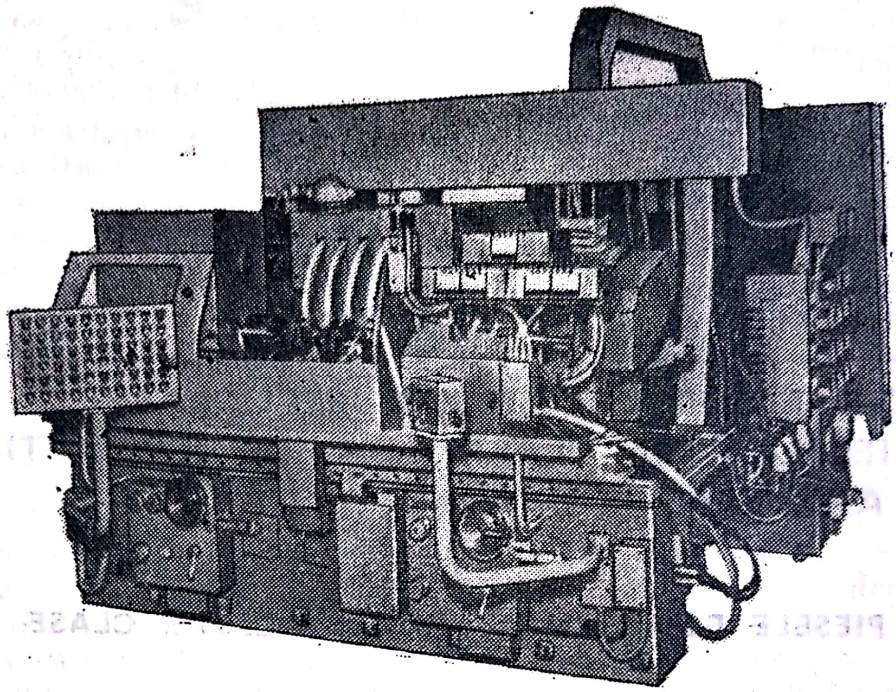
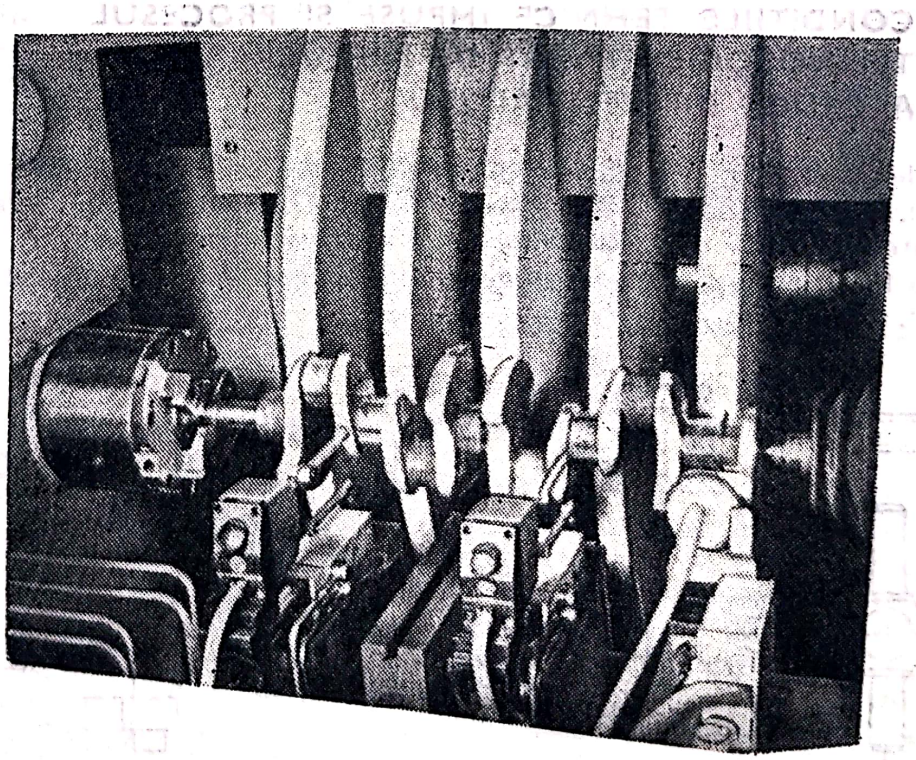


Fig. 10.2.8. Maşină de rectificat arbori cotiţi cu patru discuri.



Fih. 10.2.9. Detaliu cu aparatele de control activ a diametrelor la rectificarea unui arbore cotit pe maşina de rectificat din figura 10.2.8.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 11

PROCESE TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „PIESE DE REVOLUȚIE CU AXE CARE SE INTERSECTEAZĂ“

11.1. PIESELE REPREZENTATIVE ALE ACESTEI CLASE

Cele mai reprezentative piese de revoluţie cu axe care se intersectează sînt prezentate în figura 11.1.1. În afară de piesele reprezentate schematic în această figură, din această clasă fac parte încă o serie întreagă de piese asemănătoare.

În cele ce urmează se prezintă procesul tehnologic de prelucrare numai pentru două din cele mai răspîndite şi tipice piese din această clasă, şi anume: crucea diferenţialului şi pistonul.

11.2. CONDIȚIILE TEHNICE IMPUSE ȘI PROCESUL TEHNOLOGIC TIPIZAT DE PRELUCRARE A CRUCII DIFERENȚIALULUI

Problema tehnologică cea mai importantă care se impune a fi rezolvată este asigurarea perpendicularităţii axelor de simetrie, păstrînd în acelaşi timp coaxialitatea braţelor diametral opuse. Axa de simetrie a tuturor braţelor trebuie să fie în acelaşi plan, iar unghiul dintre acestea în planul orizontal să fie de 90°.

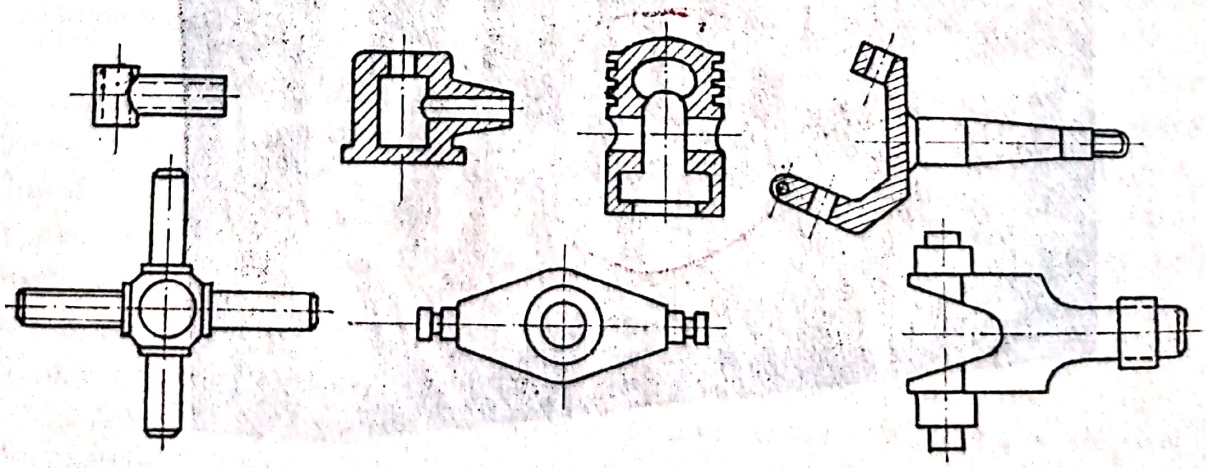


Fig. 11.1.1. Piese de revoluţie cu axe care se intersectează.

Scanned with OKEN Scanner

Particularitatea procesului tehnologic constă în faptul că piesa se tratează termic după prelucrarea de degroşare, ceea ce determină pierderea dispunerii corecte a braţelor unul faţă de celălalt.

Singura soluţie economică şi modernă este găsirea unui tratament termic în urma căruia să nu se strice poziţia reciprocă a braţelor. Pentru piese din oţel cu crom acest deziderat se realizează prin cianurare în urma căreia piesa nu se deformează. Din această cauză, cianurarea se poate face după operaţia de rectificare de finisare, întrucît nu deteriorează nici calitatea suprafeţei piesei. În acest fel prelucrarea mecanică se termină pînă la tratamentul termic.

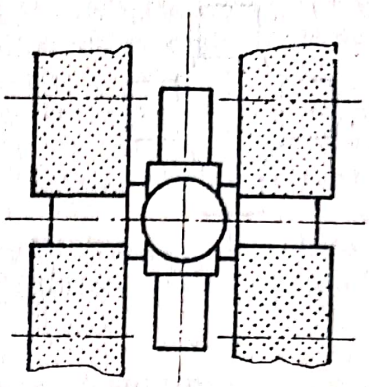


Fig. 11.2.1. Fazele la prelucrarea pe strung automat a crucii diferenţialului.

Succesiunea operaţiilor este următoarea: *1* — frezarea suprafeţelor frontale ale braţelor; *2* — centruirea braţelor (coaxialitatea şi perpendicularitatea de simetrie la centruire se asigură cu ajutorul unui dispozitiv sau prin dispunerea corectă a axelor portscule ale maşinii); *3* — strunjirea de degroşare a braţelor; *5* — rectificarea de finisare; *5* — tratamentul termic.

Pe un strung automat cu şase axe „Gildemeister " operaţiile *1*, *2* şi *3* sînt concentrate într-o singură operaţie cu fazele reprezentate în figura 11.2.2.

În cazul aplicării altui tip de tratament termic, deformaţiile piesei sînt atît de mari, încît nu mai pot fi neglijate.

Dacă tratamentul termic constă din cementare, atunci aceasta se face după strunjire şi înainte de rectificare. Pentru crearea unei baze tehnologice corecte după operaţia de cementare se face o nouă centruire. Avînd însă în vedere faptul că stratul cementat nu permite executarea unor noi găuri de centrare, locul găurilor se lasă crud (se acoperă cu un strat de cupru sau se lasă din operaţiile precedente un vîrf fals, care, după cementare, se retează cu un disc abraziv subţire cu liant de bachelită). În ambele cazuri însă nu se mai fac găuri noi de centrare ci numai o îndreptare a găurilor vechi cu o piatră abrazivă creion.

Rectificarea braţelor se poate face pe maşini de rectificat fără centre, cîte două braţe simultan (fig. 11.2.1). Rectificarea se face cu avans transversal, piesa fixîndu-se manual pe cele două liniare de reazem. Axele de rotaţie ale discurilor (de rectificat şi de antrenare) în acest caz sînt paralele.

11.3. CONDIŢIILE TEHNICE IMPUSE ŞI PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A PISTOANELOR

11.3.1. CONDIŢIILE TEHNICE IMPUSE

Pistoanelor li se impun condiţii tehnice privind:

a — Precizia de prelucrare a suprafeţelor exterioare: diametrele capului pistonului trebuie să fie executate în limitele claselor 7—8 de precizie; lăţimea canalelor pentru segmenţi trebuie să fie executată în clasele 6—8 de precizie; diametrul părţii inferioare a pistonului în clasele 7—8 de precizie.

Pentru reducerea costului prelucrării şi asigurarea preciziei impuse, suprafeţele menţionate se prelucrează după principiul interschimbabilităţii selective, mărind de 4—5 ori toleranţa impusă, iar după prelucrare pistoanele se sortează în tot atîtea grupe cu cîmpul de dispersie a fiecărei grupe egal cu toleranţa impusă la diametru. Grupele de dimensiuni se numerotează pentru

Scanned with OKEN Scanner

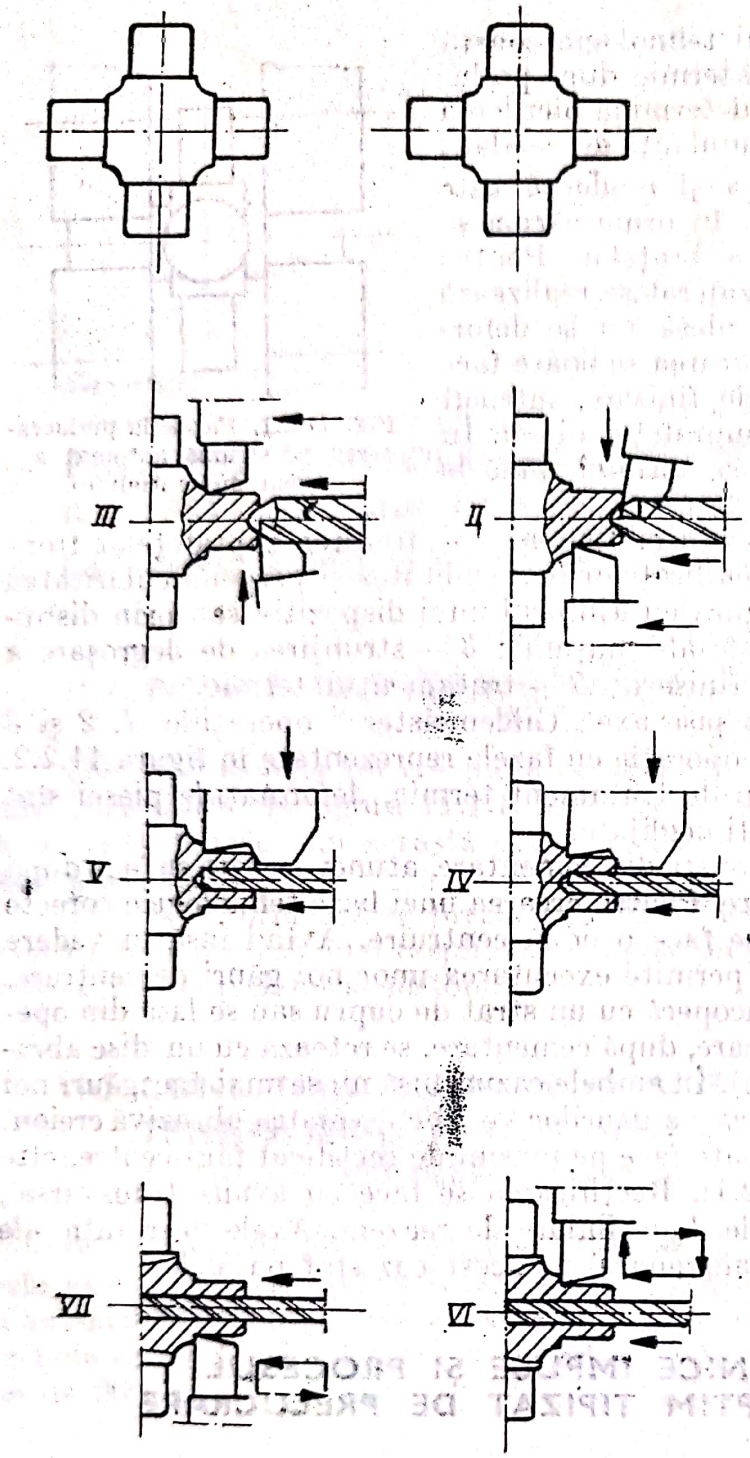


Fig. 11.2.2. Rectificarea simultană a două braţe ale crucii diferenţialului.

ca, la asamblare, pistoanele din fiecare grupă să se împerecheze cu cilindrii din aceleaşi grupe de dimensiuni (sau cu cămăşile de cilindru sortate la fel).

Controlul şi sortarea pistoanelor (bineînţeles şi al cămăşilor de cilindru) în producţia de serie mare şi masă se face pe maşini automate, care execută în acelaşi timp şi marcarea grupei.

Dacă maşina de control şi sortare poate măsura diametrele cu o precizie de 0,002 mm, atunci grupele de pistoane pot fi constituite cu limitele cîmpului de dispersie egal chiar cu 0,002 mm, obţinîndu-se în acest caz un număr mult mai mare de grupe dimensionale (dacă toleranţa de prelucrare este 0,06 mm, rezultă un număr de 30 grupe dimensionale cu cîmpul de dispersie egal cu 0,002 mm).

În afară de condiţiile dimensionale enumerate se mai impun şi condiţii privind forma suprafeţelor respective, şi anume: ovalitatea şi conicitatea nu trebuie să depăşească limitele de 0,2—0,3 din toleranţa la diametru.

b — Precizia diametrului alezajelor boltului, care trebuie să fie cuprinsă în limitele de precizie de 0,008—0,01 mm. Eroarea de formă a acestor alezaje nu poate fi mai mare de 0,4—0,5 din cîmpul de toleranţă al diametrului.

Pentru a se mări precizia ajustajului alezaje — bolţ pistoanele se controlează în stare caldă, la 70—75°C pe maşini automate şi se grupează în 3—5 grupe, după precizia alezajelor boltului, cu cîmpuri de dispersie de 0,002—0,003 mm. În acelaşi număr de grupe se sortează şi bolţurile.

c — Precizia dispunerii elementelor pistoanelor: axa de simetrie a alezajelor de bolţ trebuie să fie perpendiculară pe axa de simetrie a suprafeţelor exterioare ale pistoanelor, abaterea de la perpendicularitate admisă fiind de numai 0,03—0,06 mm pe o lungime de 100 mm; distanţa de la axa de simetrie a alezajelor boltului pînă la suprafaţa frontală a pistonului trebuie să fie cu-

Scanned with OKEN Scanner

prinsă în limitele unei toleranțe de 0,1—0,12 mm; suprafețele inferioare ale canalelor pentru segmenți trebuie să fie concentrice cu suprafețele exterioare ale capului pistonului și cu axa de simetrie a acestuia.

Rugozitatea suprafeței exterioare a părții inferioare a pistonului trebuie să nu fie mai mare de 0,8 μm, iar a suprafețelor laterale ale canalelor pentru segmenți mai mică de 1,6—3,2 μm. Rugozitatea suprafeței alezajelor pentru bolț trebuie să fie cuprinsă între 0,8—0,4 μm.

Toleranța la greutate depinde de tipul motorului (turația, numărul și dispunerea cilindrilor etc.) și variază între 0,5—1,5% din greutatea pistonului prelucrat.

11.3.2. PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A PISTOANELOR ȘI ANALIZA OPERAȚIILOR

Procesul tehnologic tipizat se prezintă sub formă de fișă tehnologică în tabelul 11.3.1.

Tabelul 11.3.1

Fișă tehnologică cu procesul tehnologic tipizat de prelucrare a pistoanelor de motoare de autovehicule

Nr. operației	Conținutul operației	Bazarea și fixarea piesei	Utilajul folosit
1	Prelucrarea bazelor tehnologice: alezarea gulerului interior de la capătul liber al pistonului, lamarea suprafeței frontale a acestuia și centruirea capătului plin.	Așezarea și strîngerea pe suprafața exterioară a capătului plin și rezemarea pe suprafața frontală	Agregat cu două capete de forță opuse
2	Strunjirea tuturor suprafețelor exterioare și a suprafeței frontale.	Așezarea și rezemarea pe gulerul interior de la capătul liber și pe alezajul de centrare	Strung automat cu șase sau opt axe
3	Prelucrarea de semifinisare a alezajelor bolțului.	Așezarea și rezemarea pe gulerul interior și suprafața frontală a capătului liber și strîngerea axială prin alezajul de centrare	Agregat cu două capete de forță opuse
4	Burghierea alezajelor de ungere în canalele de segmenți și frezarea fantelor (crestăturilor) în ultimul canal de segment și în jumătatea dinspre partea cu capătul liber	Idem operația 3	Agregat de burghiat și frezat
5	Ajustare la greutate	—	Agregat special
6	Rectificarea suprafeței exterioare	Idem operațiile 2, 3 și 4	Mașină de rectificat între vîrfuri. Mașină de rectificat fără vîrfuri.
7	Retezarea cepului cu alezajul de centruire	Așezarea cu suprafața exterioară de la capătul plin într-o prismă	Mașină de rectificat cu masă plană
8	Acoperire cu staniu (stanare)		Instalație specială cu baie de staniu
9	Alezarea de finisare a alezajelor bolțului	Idem operația 3	Idem operația 3
10	Controlul dimensiunilor și sortarea în grupe după diametrul exterior și diametrul alezajelor bolțului	—	Mașină specială de măsurat și sortat

Scanned with OKEN Scanner

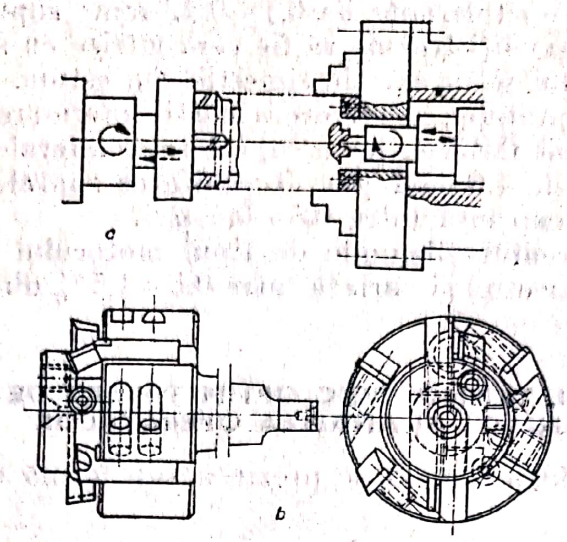


Fig. 11.3.1. Prelucrarea pistonului pe un agregat cu două capete.

Prelucrarea bazelor tehnologice. La aproape toate operațiile de prelucrare a pistonului se folosesc aceleași baze tehnologice, care se execută în prima operație.

Alezarea gulerului interior de la capătul liber al pistonului, lamarea suprafeței frontale a acestuia și centruirea capătului plin se execută pe un agregat cu două capete de forță opuse, piesa așezîndu-se pe bacurile unui dispozitiv special de fixare (fig. 11.3.1).

Prelucrarea suprafețelor capătului liber al pistonului se face cu cap de alezat și lamat, care execută atît mișcarea principală de așchiere (de rotație în jurul axei sale), cît și cea de avans de lucru, piesa avînd o poziție fixă în dispozitivul de fixare.

Centruirea capătului plin al pistonului se face cu un burghiu de centruit fixat în cel de-al doilea cap de forță al agregatului, al cărui ax principal port-burghiu de centruire execută prin interiorul dispozitivului de fixare atît mișcarea principală de așchiere, cît și cea de avans de lucru și de retragere în poziția inițială.

Baza de așezare a piesei în această operație este suprafața exterioară de la capătul plin al pistonului, iar cea de reazem este suprafața frontală a aceluiași capăt.

Prelucrarea suprafețelor exterioare și a suprafeței frontale de la capătul plin al pistonului. Operația se poate face pe un strung automat cu șase sau opt axe. Schema de reglaj pentru executarea acestei operații pe un strung automat cu șase axe ASH 160 a firmei Gildemeister este prezentată în figura 11.3.2, în care cu numerele *1—5* sînt numerotate pozițiile de lucru, iar cu *6* poziția de încărcare — descărcare automată. Alimentarea se face pe un jgheab înclinat.

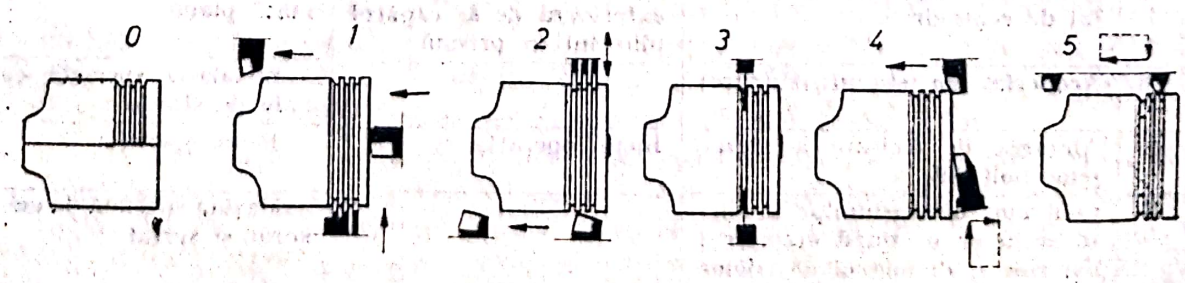


Fig. 11.3.2. Schema de reglaj pe un strung automat.

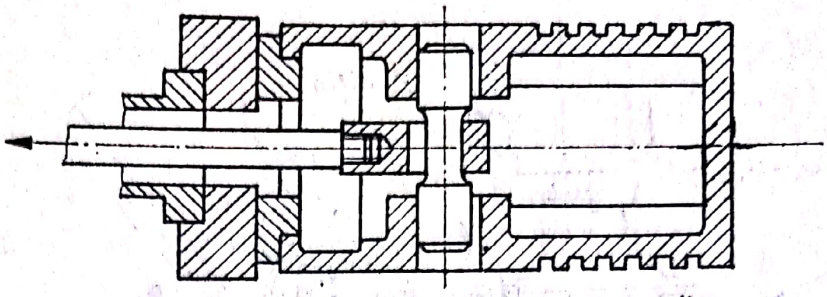


Fig. 11.3.3. Dispozitiv special pentru strunjire.

Fixarea piesei se face pe suprafața interioară. Pistonul, executat dintr-un aliaj de aluminiu cu siliciu, se strunjește cu o viteză de așchiere $v = 265$ m/min. Timpul de lucru pe bucată este de numai 11 s.

În cazul în care fixarea piesei pentru operația de strunjire a suprafețelor exterioare și a celei frontale se face pe un dispozitiv ca cel din figura 1.3.3, prelucrarea de semifinisare a alezajelor boltului se execută înaintea operației de strunjire a suprafețelor exterioare și a celei frontale.

Prelucrarea de finisare a acestor alezaje se face după operația de acoperire cu staniu, pe un agregat cu două sau mai multe capete de forță. Drept bază de așezare în această operație servește suprafața interioară și cea frontală de la capătul liber al pistonului. Prelucrarea pe un agregat cu două sau patru capete de forță se efectuează în două faze. În prima fază se face alezarea de semifinisare a ambelor alezaje cu o bară de alezat cu două cuțite, iar alezarea de finisare, succesiv, tot a ambelor alezaje cu bară de alezat cu un singur cuțit, fixată în cel de-al doilea cap de alezat, cu un alt regim de așchiere. Adaosul de prelucrare este de 0,2—0,5 mm, iar pentru alezarea de finisare 0,08—0,1 mm.

Pentru ca la retragerea barelor de alezat, după finisare, cuțitele să nu lase urme pe suprafața prelucrată, se poate aplica una din următoarele posibilități: să se facă retragerea cu același avans de lucru și viteză de așchiere ca și la prima trecere, însă în gol, ceea ce echivalează cu o alezare de finisare din două treceri, ultima asigurînd o precizie mai mare și o rugozitate mai mică; să se facă retragerea după ce s-a făcut desprinderea pieselor din dispozitivul de fixare; agregatul să fie prevăzut cu posibilitatea efectuării unei deplasări radiale a saniei pe care sînt fixate piesele, după care apoi să se retragă barele de alezat.

Rectificarea suprafeței exterioare. Se poate executa, așa cum s-a indicat în fișa tehnologică, pe o mașină de rectificat cu vîrfuri după metoda clasică, sau pe o mașină de rectificat fără vîrfuri, cu avans radial, prevăzută cu o instalație de alimentare și evacuare automată [96].

Burghierea alezajelor de ungere și a fantelor în ultimul canal de segmenți. Prelucrarea se execută pe un agregat complex a cărei schemă de principiu este prezentată în figura 11.3.4. Pe acest agregat cu cinci poziții de lucru, cu dispunerea în plan orizontal a axelor, se execută burghierea a șase alezaje și se frezează două fante înclinate și una orizontală. Agregatul lucrează în următorul ciclu:

— în poziția *1* se scoate piesa prelucrată și se fixează cea care urmează a fi prelucrată;

Scanned with OKEN Scanner

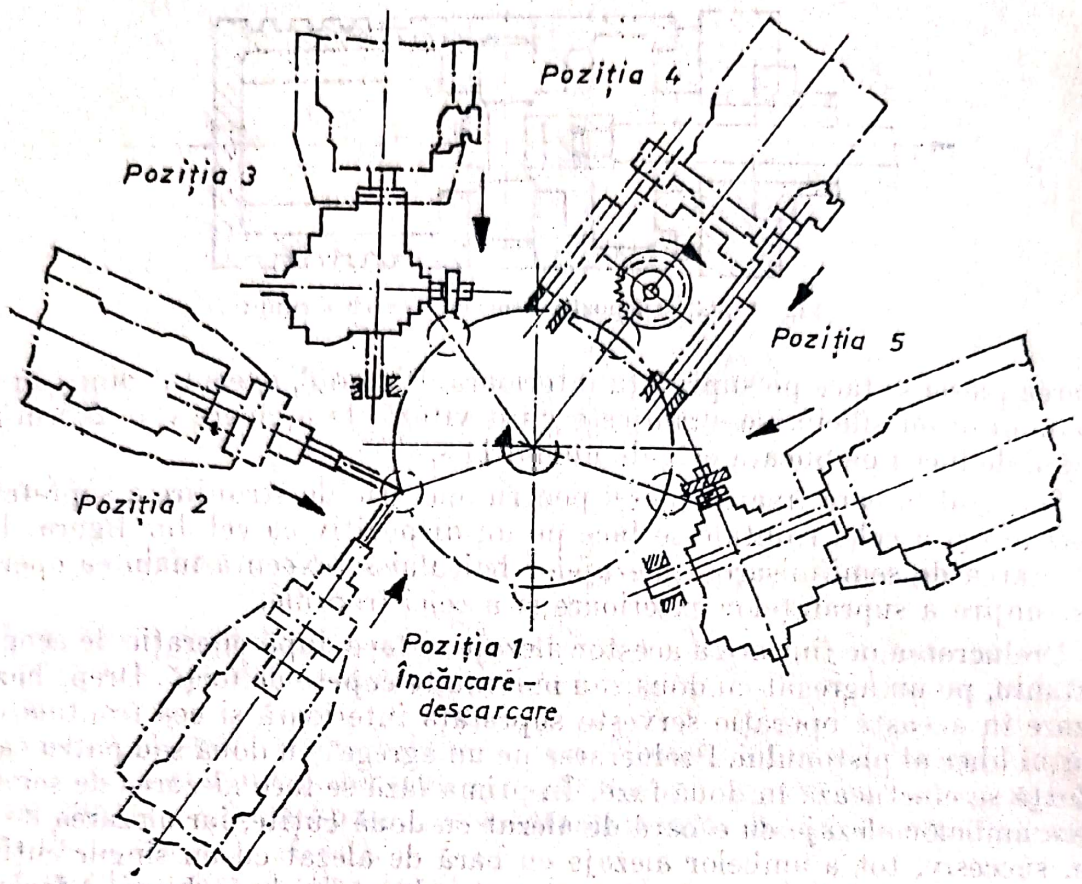


Fig. 11.3.4. Prelucrarea pe agregat a alezajelor de ungere.

— în poziția *2* se execută burghierea alezajelor cu diametrul de 5 mm în jumătatea a doua a pistonului (înspre capătul liber);

— în poziția *3* se execută frezarea primei fante înclinate cu lățimea de 1,5 mm în aceeași jumătate a pistonului între alezajele de 5 mm;

— în poziția *4* se frezează fanta orizontală cu lățimea de 2,5 mm între alezajele cu diametrul de 5 mm în cel de-al cincilea canal de segmenți;

— în poziția *5* se frezează a doua fantă înclinată în aceeași jumătate a pistonului dinspre partea liberă.

Celelalte operații neprezentînd interes deosebit, nu se mai analizează.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 12

PROCESE TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „PÎRGHII ȘI FURCI“

12.1. CONDIȚIILE TEHNICE IMPUSE PIESELOR DIN ACEASTĂ CLASĂ

Cele mai caracteristice piese din clasa „pîrghii“ sînt reprezentate în figura 12.1.1. Aceste piese, au una sau mai multe găuri de bază cu axele de simetrie paralele, perpendiculare, sau dispuse sub un unghi oarecare. În afară

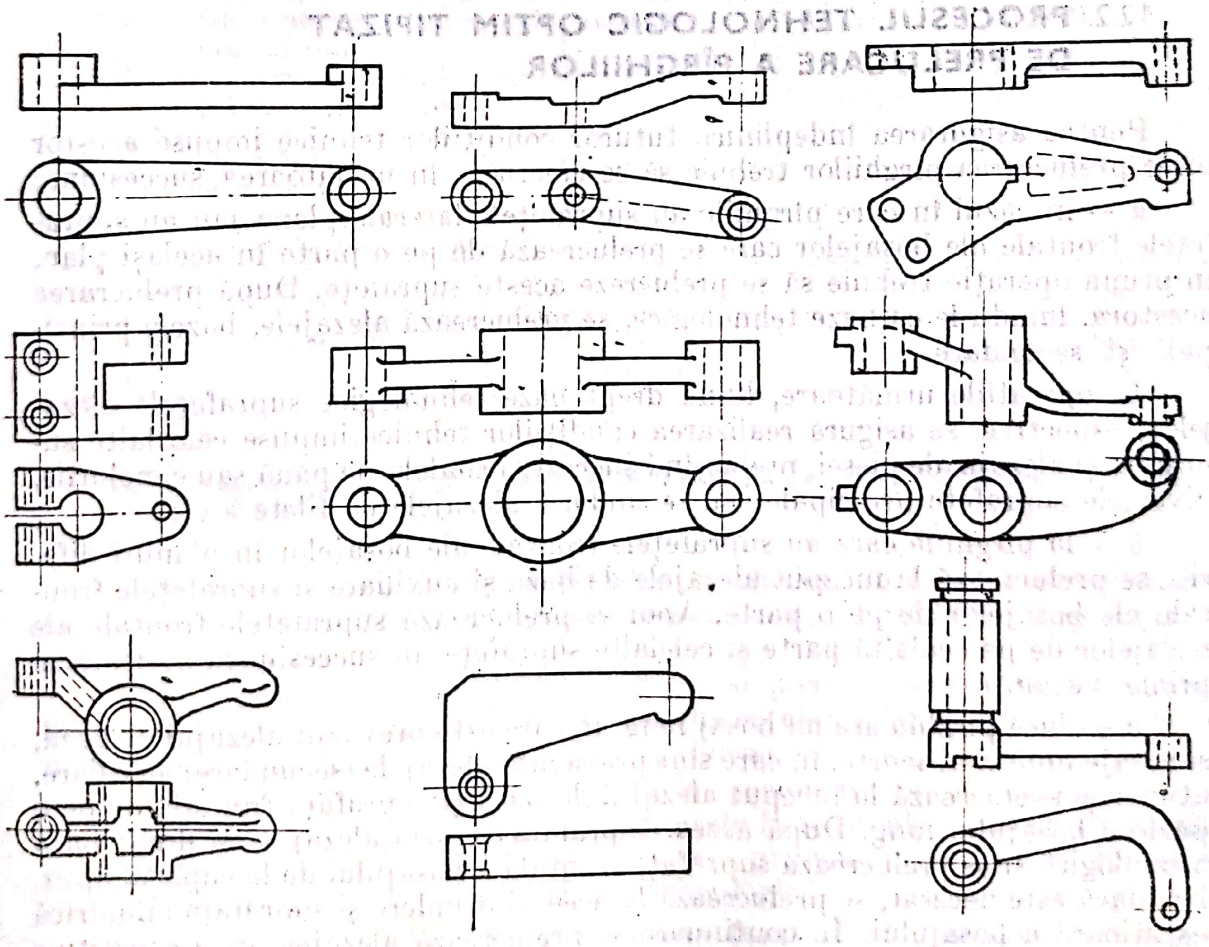


Fig. 12.1.1. Configurații de piese din clasa pîrghii.

Scanned with OKEN Scanner

de aceste găuri, pîrghiile mai pot avea găuri de fixare, canale de pană sau caneluri, suprafeţe frontale perpendiculare pe axele de simetrie ale găurilor.

Principalele condiţii tehnice impuse sînt următoarele:

— alezajele, baze tehnologice principale şi auxiliare, trebuie să se execute cu o precizie cuprinsă în clasele 6 sau 8 de precizie pentru un ajustaj alunecător sau glisant;

— toleranţa la distanţa dintre axele de simetrie ale alezajelor de bază se dă în funcţie de condiţiile de lucru ale pieselor respective între 0,1—0,2 mm;

— abaterea de la paralelism sau perpendicularitate a axelor de simetrie a acestor alezaje este, în general, de 0,05—0,25 mm, iar pentru cazuri deosebite este de numai 0,01 mm pe o lungime de 100 mm;

— abaterea de la perpendicularitate a suprafeţelor frontale faţă de axa de simetrie a găurilor de bază este de numai 0,001—0,003 mm la 1 mm din mărimea razei;

— abaterea de la paralelism a suprafeţelor frontale este de 0,0005—0,00025 mm la 1 mm din mărimea diametrului alezajului de bază;

— rugozitatea suprafeţei alezajelor de bază nu trebuie să fie mai mare de 3,2 μm. De asemenea, aceeaşi rugozitate trebuie să aibă şi suprafeţele frontale;

— precizia canalelor de pană şi a canalurilor trebuie să fie cuprinsă în clasele 7—10, iar rugozitatea suprafeţei trebuie să fie de 12,8—3,2 μm.

12.2. PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A PÎRGHIILOR

Pentru asigurarea îndeplinirii tuturor condiţiilor tehnice impuse acestor piese prelucrarea pîrghiilor trebuie să se efectueze în următoarea succesiune:

a — în cazul în care pîrghiile au suprafeţele laterale plane sau au suprafeţele frontale ale bosajelor care se prelucrează de pe o parte în acelaşi plan, în prima operaţie trebuie să se prelucreze aceste suprafeţe. După prelucrarea acestora, luîndu-le ca baze tehnologice, se prelucrează alezajele, bazele principale şi secundare.

În operaţiile următoare, luînd drept baze tehnologice suprafeţele alezajelor respective, se asigură realizarea condiţiilor tehnice impuse celorlalte suprafeţe şi alezaje ale piesei, prelucrînd succesiv canalele de pană sau canelurile, diversele suprafeţe principale sau secundare, alezajele cu filete etc.;

b — la pîrghiile care au suprafeţele frontale ale bosajelor în planuri diferite se prelucrează la început alezajele de bază şi auxiliare şi suprafeţele frontale ale bosajelor de pe o parte. Apoi se prelucrează suprafeţele frontale ale bosajelor de pe cealaltă parte şi celelalte suprafeţe, în succesiunea indicată în prima variantă.

c — dacă pîrghia are un bosaj lung, în care este prevăzut alezajul de bază, şi bosaje mult mai scurte, în care sînt prevăzute alezajele (secundare) auxiliare, atunci se prelucrează la început alezajul de bază şi suprafaţa frontală de pe o parte a bosajului lung. După aceea, suprafaţa acestui alezaj se ia drept bază tehnologică şi se prelucrează suprafaţa frontală a bosajului de la capătul opus, iar, dacă este necesar, se prelucrează la aceeaşi prindere şi suprafaţa cilindrică exterioară a bosajului. În continuare se prelucrează alezajele care constituie baze tehnologice auxiliare şi suprafeţele frontale ale bosajelor scurte de pe o

Scanned with OKEN Scanner

parte, apoi de pe partea opusă. După aceea, se prelucrează restul suprafețelor, în succesiunea arătată în prima variantă.

Procesul tehnologic tipizat de prelucrare a pîrghiilor prezentat sub formă de fișă tehnologică este dat în tabelul 12.2.1.

Tabelul 12.2.1

Tehnologia de prelucrare a pîrghiilor și furcilor

Nr. operației	Nr. fazei	Conținutul operației	Utilajul folosit în producție de:		
			unicate	serie	masă
1	1	Trasarea axelor de simetrie a alezajului principal și a celui secundar	Masă de trasat	—	—
2	1	Burghierea sau lărgirea alezajului principal	Mașină de burghiat verticală cu dispozitiv universal de fixare cu bacuri	Mașină de burghiat radială sau verticală cu masă rotativă și cu cap multiax Mașină cu comandă numerică după program	Agregat multipozițional cu ciclu continuu de lucru și cu post de încărcare-descărcare Linie tehnologică automată
	2	Burghierea sau lărgirea alezajului secundar			
	3	Lamarea suprafeței frontale a bosajului principal			
	4	Teșirea alezajului principal			
	5	Lamarea suprafeței frontale a bosajului secundar			
	6	Teșirea alezajului secundar			
3	1	Lamarea suprafeței frontale a bosajului principal la capătul opus	Idem operația 2	Idem operația 2	Idem operația 2
	2	Teșirea alezajului principal la capătul opus			
	3	Lamarea suprafeței frontale a bosajului secundar de la capătul opus			
	4	Teșirea alezajului secundar de la capătul opus			
4	1	Spălarea	—	—	—
5	1	Controlul final	Instrumente universale	Verificare	Verificare

12.2.1. ANALIZA OPERAȚIILOR DIN PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT

Succesiunea prelucrării suprafețelor pîrghiilor, în funcție de diversele condiții concrete, se poate, într-o oarecare măsură, schimba în comparație cu succesiunea tipizată.

Astfel, de exemplu, în varianta a doua, se poate executa frezarea suprafețelor frontale ale bosajelor înaintea burghierii alezajelor sau, la pîrghiile cu bosaje scurte, se poate executa mai întîi burghierea alezajului principal, iar în operația următoare burghierea alezajelor secundare (auxiliare).

Dacă pîrghiile sînt prevăzute cu suprafețe funcționale, acestea, de obicei, se degroșează după prelucrarea suprafețelor principale și apoi se finisează într-o operație de la finele procesului tehnologic.

Pentru prelucrarea suprafețelor plane frontale ale bosajelor în prima operație, drept bază de așezare, se prevede suprafața plană opusă celei care se

Scanned with OKEN Scanner

prelucrează, sau, toate suprafețele frontale ale pîrghiei. Drept baze de ghidare și reazem se aleg acele suprafețe care asigură o așezare cît mai comodă a piesei în dispozitiv. În cazul prelucrării alezajelor drepte — baza principală și cele auxiliare — ale pîrghiei, ca bază de așezare se aleg suprafețele frontale opuse ale bosajelor, iar ca baze de ghidare și de reazem se aleg acele suprafețe care asigură dispunerea pe aceeași axă de simetrie a alezajelor care se prelucrează, precum și coaxialitatea acestora cu bosajele corespunzătoare.

Alegerea bazelor tehnologice și de fixare. Schemele variantelor posibile de bazare ale pîrghiilor cu două bosaje scurte pentru prelucrarea alezajelor din bosajele respective sînt prezentate în figura 12.2.1. Alegerea unei variante de bazare este funcție de condițiile tehnice impuse piesei respective.

Din analiza variantei din figura 12.2.1, *a* rezultă concluzia că grosimile pereților bosajului mare, *f* (v. fig. 12.2.1, *f*) și al bosajului mic, *g*, pot fi uniforme. Grosimea *f* impusă peretelui bosajului mare în direcția axei *X* poate fi realizată destul de precis. Construcția dispozitivului este foarte simplă în comparație cu alte variante.

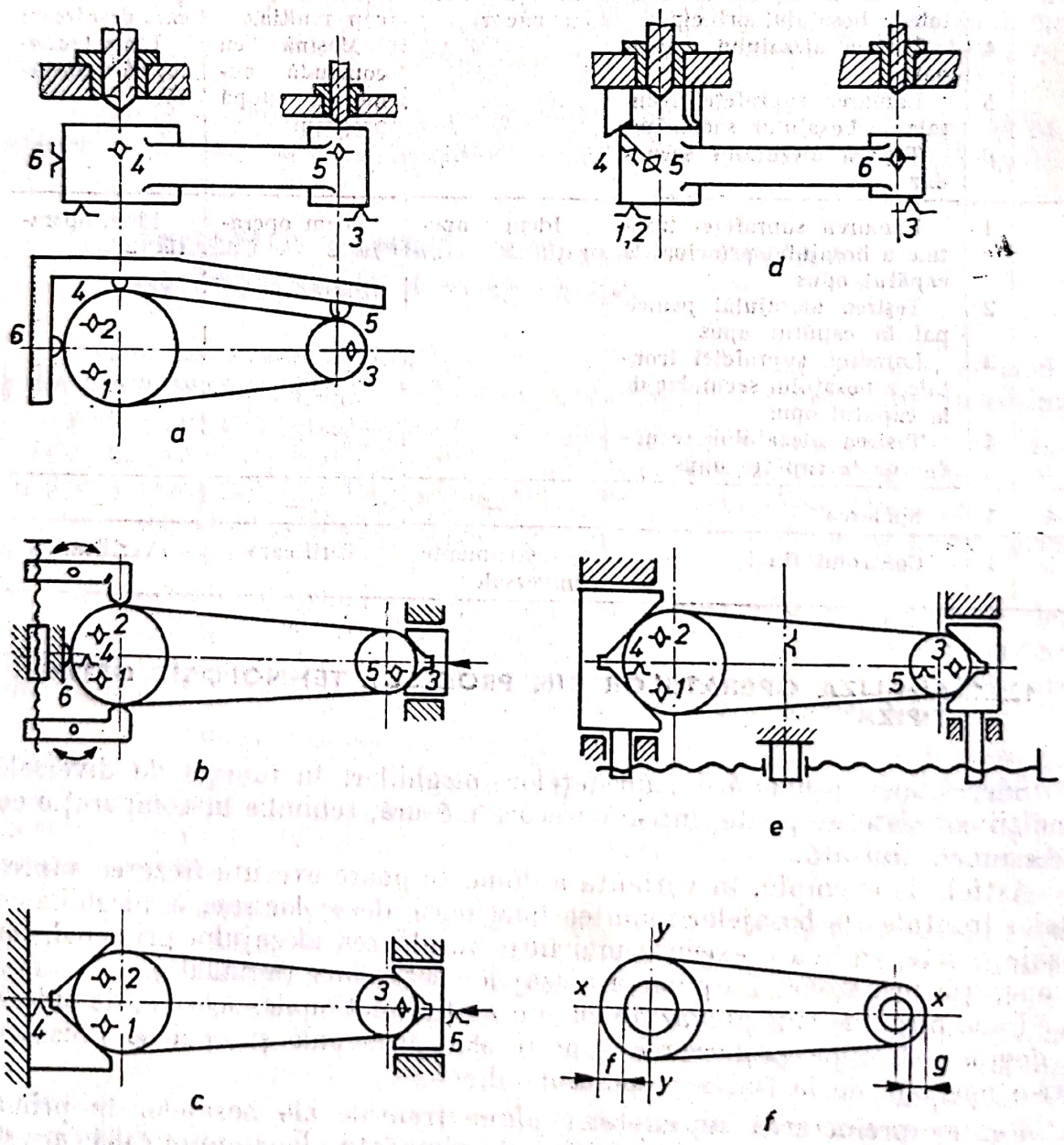


Fig. 12.2.1. Scheme de bazare ale pîrghiilor.

Scanned with OKEN Scanner

Analizînd varianta din figura 12.2.1, *b* rezultă că necoaxialitatea după axa *X* corespunde celei din varianta din figura 12.2.1, *a*, deoarece bazarea după axa *X* nu s-a schimbat. Necoaxialitatea după axa *Y* va fi provocată numai de eroarea de reglaj a burghiului. Astfel, în această variantă grosimile pereților *f* și *g* ai ambelor bosaje în direcția axei *Y* se obțin mult mai uniforme, însă pot să difere foarte mult de grosimea în direcția axei *X*. Grosimea peretelui bosajului mare în direcția axei *X* de asemenea, ca și în prima variantă, poate fi destul de ușor și precis realizată. Variația grosimii *g* a peretelui bosajului mic va fi aproximativ aceeași ca și în cazul primei variante. Construcția dispozitivului însă este mai complicată ca cea a dispozitivului din varianta din figura 12.2.1,*a*.

La bazarea după schema din varianta din figura 12.2.1, *c*, necoaxialitatea după axa *Y* este provocată, ca și în cazul variantei din figura 12.2.1, *b*, numai de eroarea de reglare a burghiului. Necoaxialitatea după axa *X* se schimbă în comparație cu variantele *a* și *b* datorită faptului că baza de control nu coincide cu cea de așezare (așezarea în prisme dă naștere la erori de bazare [35]. Din analiza acestei variante se poate observa că grosimile pereților *f* și *g* ale bosajelor în direcția axei *Y*, similar variantei *b*, se obțin destul de uniforme, însă pot diferi față de grosimea peretelui în direcția axei *X* într-o măsură mai mare decît la bazarea după variantele *a* și *b*. Grosimea *f* a peretelui bosajului mare în direcția axei *X* poate, într-o măsură mare, să difere de cea nominală. Variația grosimii *g* a peretelui bosajului mic este mai mare decît după variantele *a* și *b*. Construcția dispozitivului este mai complicată decît a celui din varianta *a* și mai simplă decît a celui din varianta *b*.

După analizarea detaliată a bazării după varianta din figura 12.2.1, *d* se poate trage concluzia că grosimea peretelui *f* se poate menține uniformă în toate direcțiile. Variația grosimii *g* a peretelui bosajului mic în direcția axei *X*, va fi mai mică decît la bazarea după variantele de mai înainte (*a*, *b* și *c*). Construcția dispozitivului de fixare a pîrghiei este mai complicată decît a celorlalte dispozitive, mai ales dacă punctul *6* se materializează printr-un sistem de autocentrare.

La bazarea după varianta din figura 12.2.1, *e*, abaterea de la coaxialitate în direcția axei *Y* este analogă celei din varianta *c*, fiind provocată numai de eroarea de reglare a burghiului.

Grosimile *f* și *g* ale pereților bosajelor mare și mic în direcția axei *Y*, ca și în cazul variantelor *b* și *c* se mențin destul de uniforme, însă pot să difere de grosimea în direcția axei *X*. Variația grosimii *g* a peretelui bosajului mic în direcția axei *X* este mai mică decît la bazarea după variantele precedente, iar a grosimii *f* este mai mare decît după variantele *a*, *b* și *d* și poate fi mai mare decît după varianta *c*. Din punctul de vedere al complexității constructive a dispozitivului, aceasta este aproximativ egală cu cea din varianta *b*.

Alegerea bazei tehnologice de așezare în completul de baze la prelucrarea alezajului la pîrghiile cu bosajul lung este irațională, deoarece, din cauza neperpendicularității bosajului față de baza tehnologică de așezare, la unul din capetele bosajului apare o abatere importantă de la coaxialitatea alezajului și a bosajului. De aceea, la prelucrarea alezajelor pîrghiilor care au un bosaj lung, în completul de baze tehnologice, în locul bazei tehnologice de așezare, trebuie aleasă o bază dublă de ghidare. Una din astfel de variante poate să fie bazarea pîrghiei cu bosajul lung pe o prismă fixă. În acest caz, la un lot de pîrghii,

Scanned with OKEN Scanner

cota-parte ω din cîmpul de dispersie al abaterilor de la coaxialitatea alezajului cu bosajul funcție de variația ω_D a diametrului lung va fi:

$$\omega = \frac{\omega_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}, \qquad (12.2.1)$$

unde α reprezintă unghiul prismei.

Pentru eliminarea acestei erori se poate lua, în calitate de sistem de bazare al dispozitivului de fixare a pîrghiei, o prismă care se autocentrează (fig. 12.2,2*a*) sau o mandrină cu trei bacuri (fig. 12.2.2, *b*).

În cazul bazării după schema din figura 12.2.2, *b* poate apărea o abatere de la coaxialitatea alezajului și bosajului mare, deoarece bazarea se face pe muchiile suprafețelor frontale ale bosajului respectiv atunci cînd aceste suprafețe nu sînt perpendiculare pe axa de simetrie a alezajului, respectiv a bosajului.

După prelucrarea alezajului, care este baza principală a pîrghiei, acesta, de obicei, se ia drept una din bazele tehnologice în operațiile următoare ale procesului tehnologic de prelucrare a pîrghiei.

Alegerea procedeelor și metodelor de prelucrare. În practica întreprinderilor constructoare de mașini se întîlnesc următoarele metode de prelucrarea suprafețelor pîrghiilor.

Suprafețele plane se frezează sau, atunci cînd semifabricatele au un adaos mic de prelucrare, se rectifică pe mașini de rectificat plan verticale sau orizontale.

Alezajele cu diametre cuprinse în clasele 6 și 8 de calitate, pînă la 15 mm diametru se burghiază și alezează, iar cele cu diametrul mai mare de 15 mm

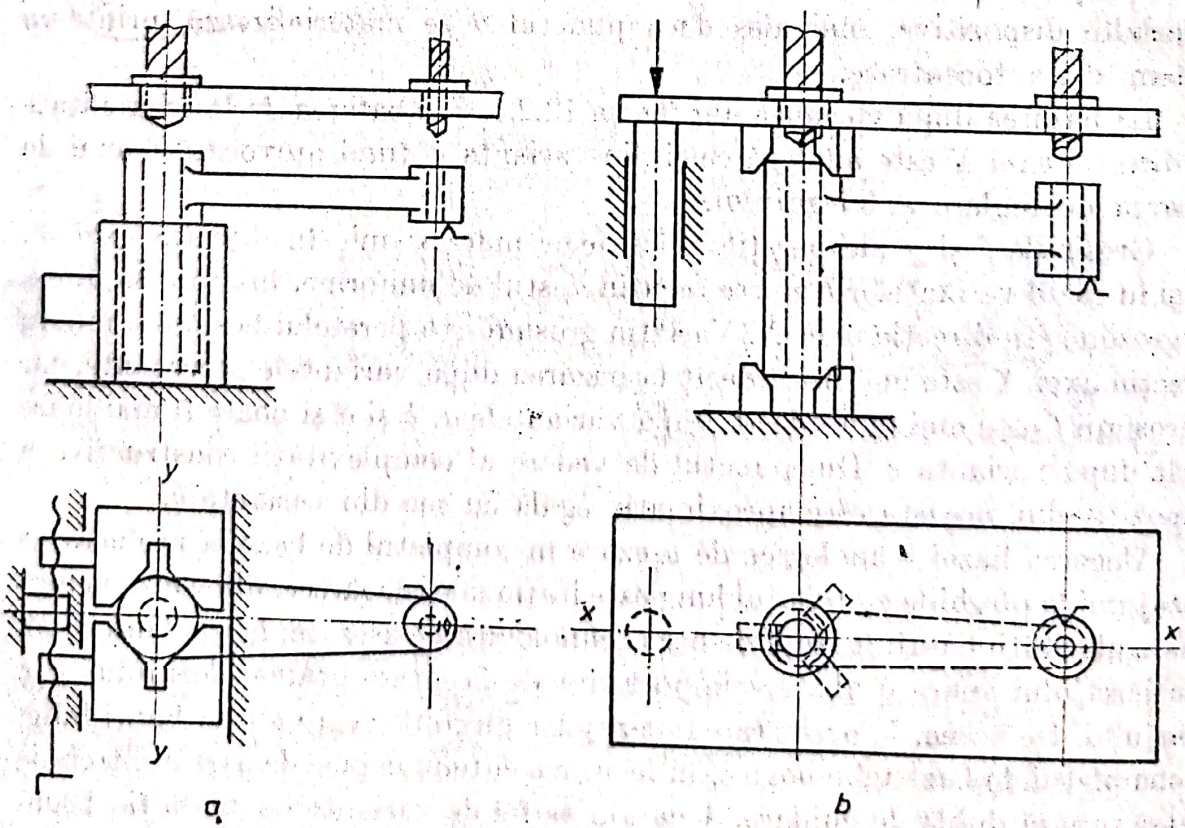


Fig. 12.2.2. Scheme de bazare ale pîrghiilor cu bazaj lung.

Scanned with OKEN Scanner

se burghiază, se adîncesc și se alezează. Dacă semifabricatul are alezajul realizat din turnare sau matrițare, atunci acesta se prelucrează mecanic prin adîncire și alezare. În producția de serie mare și de masă, alezajele cu diametrul mai mare de 20 mm se prelucrează foarte economic prin broșare. Alezajele cu precizia cuprinsă în clasa 9 de precizie, de obicei, nu se alezează.

Suprafețele frontale ale bosajelor scurte se prelucrează prin frezare sau lamare, iar ale bosajelor lungi — prin lamare sau strunjire. Prelucrarea prin lamare prezintă următoarele avantaje: micșorarea lungimii cursei de lucru a sculei; simplificarea și costul mai redus al dispozitivului, datorită apăsării piesei pe suprafața de reazem a acestuia sub influența componentei axiale a forței de așchiere; reducerea timpului auxiliar pe seama așezării mult mai simple a piesei în dispozitivul de fixare și eliminarea unei așezări prin prelucrarea din aceeași prindere atît a alezajului, cît și a suprafeței frontale a bosajului. Superioritatea prelucrării prin strunjire constă în asigurarea unei perpendicularități mai precise a suprafeței frontale prelucrate față de axa de simetrie a alezajului, precum și în posibilitatea prelucrării unei suprafețe frontale mari. Și prelucrarea prin frezare prezintă o serie de avantaje, și anume: posibilitatea prelucrării suprafețelor frontale late și necirculare; prelucrarea simultană a ambelor suprafețe frontale ale bosajului; prelucrarea simultană a mai multor pîrghii; suprapunerea timpului auxiliar pentru fixarea și scoaterea piesei cu timpul de bază la prelucrarea pe mașini cu masă rotativă și cu două sau mai multe posturi de lucru și unul de încărcare-descărcare.

Analizînd diversele variante posibile a pîrghiilor pentru prelucrarea suprafețelor frontale ale bosajelor, rezultă că precizia cea mai mică se obține la bazarea prezentată în figura 12.2.3, precum și în cazul prelucrării ambelor suprafețe frontale separat de alezajul bosajului respectiv.

Dacă una din suprafețele frontale ale bosajului se prelucrează prin lamare în aceeași prindere cu prelucrarea alezajului, precizia perpendicularității axei de simetrie a alezajului față de suprafața frontală a bosajului se îmbunătățește foarte mult.

Cea mai înaltă precizie a parametrilor amintiți se poate realiza la bazarea indicată în schema din figura 12.2.4, după care pîrghia se introduce pe bolțul dispozitivului fără joc. Dispozitivul folosit la prelucrarea după această variantă de bazare este mai scump decît precedentul. Varianta de bazare prezentată se recomandă a fi utilizată la prelucrarea suprafeței frontale a bosajului prin strunjire.

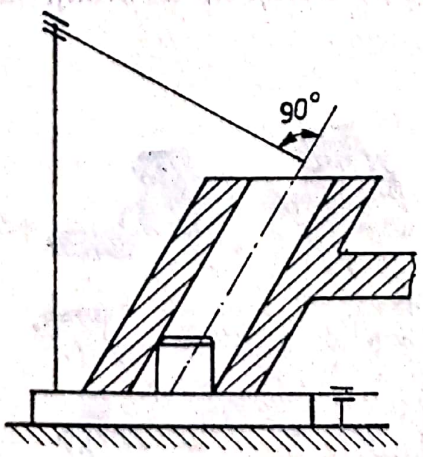


Fig. 12.2.3. Schemă eronată de bazare pentru prelucrarea suprafeței frontale a bucșei.

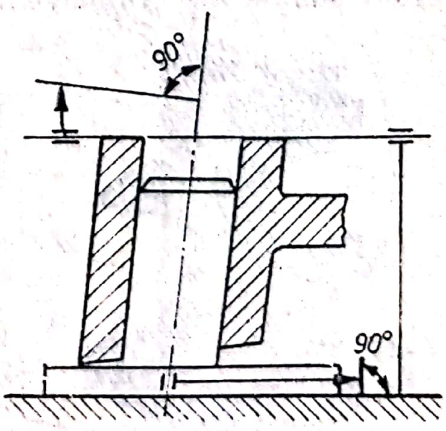


Fig. 12.2.4. Schemă corectă de bazare pentru prelucrarea suprafeței frontale a bucșei.

Scanned with OKEN Scanner

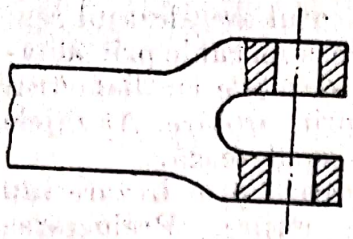


Fig. 12.2.5. Furcă cu două braţe.

Canalul de pană, canelurile sau „dinţii de şoareci" din alezajul pîrghiei se execută prin broşare.

Dacă pîrghia are forma de furcă cu două braţe, canalul dintre braţele furcii (fig. 12.2.5), de obicei, se frezează. Atunci cînd semifabricatul nu are executat acest canal despărţitor, frezarea acestuia se efectuează înainte sau după prelucrarea alezajului, funcţie de rigiditatea braţelor. Dacă rigiditatea braţelor este suficient de mare, atunci canalul despărţitor se frezează înainte de executarea alezajelor din braţe, varianta fiind mai economică. Atunci cînd rigiditatea braţelor nu este suficient de mare, frezarea canalului despărţitor se face după executarea alezajului în plin, varianta prezentînd avantajul eliminării posibilităţii formării bavurilor la ieşirea sculei din primul alezaj.

Alezajele de ungere se execută în ultimele operaţii ale procesului tehnologic.

Alegerea utilajelor şi a dispozitivelor funcţie de tipul de producţie. Utilajul şi dispozitivele necesare prelucrării pieselor din această clasă de piese sînt funcţie de tipul de producţie.

În producţia de unicate şi serie mică, în unele cazuri, este economic ca prelucrarea tuturor suprafeţelor pîrghiilor să se facă după trasaj pe maşini-unelte universale şi în dispozitive constituite din elemente demontabile (fig. 12.2.6). În producţia de serie mică, cînd numărul de tipodimensiuni de pîrghii este mare, este raţională şi economică organizarea prelucrării pe baza principiilor tehnologiei de grup [34].

În producţia de serie, pîrghiile se prelucrează, în general, fără a fi trasate în prealabil, pe maşini-unelte universale, reglate la dimensiune şi în dispozitive speciale. Se poate de asemenea organiza prelucrarea după tehnologia de grup, utilizînd dispozitive de grup sau dispozitive din elemente demontabile. Avantajele dispozitivelor din astfel de elemente faţă de cele de grup constă în universalitatea mare a acestora şi posibilitatea prelucrării pieselor cu diverse feluri de baze tehnologice. În schimb au şi un dezavantaj mare — sînt foarte voluminoase şi grele.

Extinderea tehnologiei de grup la prelucrarea pîrghiilor este condiţionată de asemănarea formei şi a condiţiilor tehnice impuse, de similitudinea suprafeţelor care trebuie prelucrate şi de gama de dimensiuni, condiţii care permit constituirea de grupe de pîrghii care se pot prelucra pe acelaşi tip de utilaj, cu reglări simple ale echipamentului tehnologic.

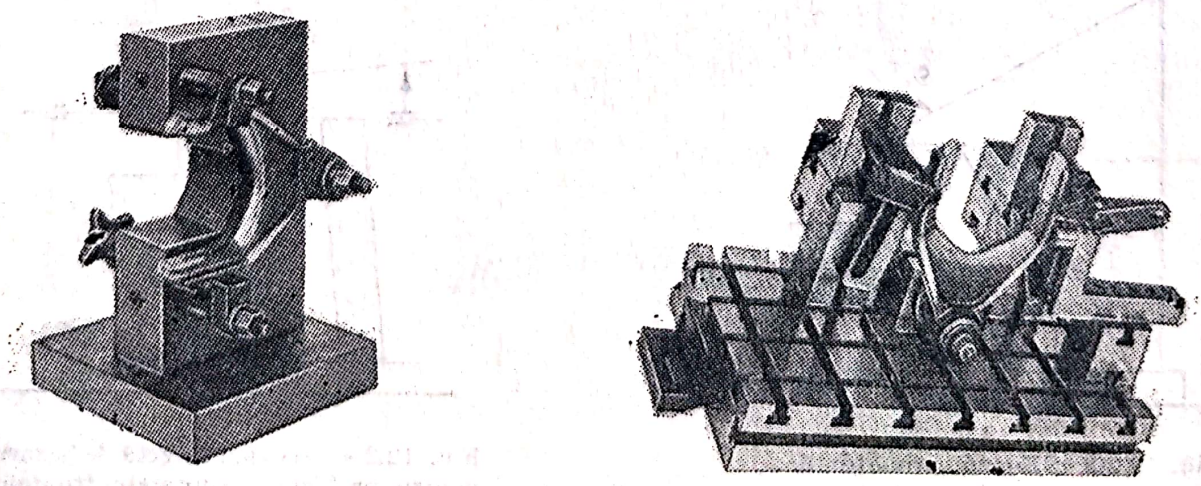


Fig. 12.2.6. Dispozitive din elemente demontabile.

Scanned with OKEN Scanner

Definitivarea alegerii echipamentului tehnologic (dispozitive universale formate din elemente demontabile, dispozitive de grup sau dispozitive speciale) se face pe baza unui calcul tehnico-economic.

Pentru frezarea suprafețelor plane, a suprafețelor frontale ale bosajelor drept dispozitive universale formate din elemente demontabile se utilizează foarte frecvent menghini de masă cu bacuri schimbabile pentru fixarea diverselor pîrghii.

Burghierea alezajelor se face pe mașini de găurit radiale sau verticale. Pentru reducerea timpului necesar reglării dispozitivelor speciale se folosesc mese circulare rotative, pe care se fixează dispozitivele, care se aduc în poziția de lucru prin rotirea mesei. La prelucrarea pe mașini verticale de găurit se folosesc mese rotative inelare, care cuprind în interiorul lor coloana mașinii.

Dacă se echipează o mașină verticală de găurit cu masă rotativă și cu un cap multiax, se poate organiza prelucrarea multipoziționlă a pîrghiilor fixate în dispozitive de grup reglabile. La prima poziție de lucru se face „încărcarea și descărcarea", respectiv fixarea și eliberarea pieselor. La poziția a doua se face burghierea sau lărgirea alezajului, la poziția a treia zencuirea, iar la a patra alezarea. Dacă nu este necesară una din ultimele faze, se poate face lamarea suprafeței frontale a bosajului.

Prelucrarea pîrghiilor în cazul producției de serie mică se poate executa pe mașini cu comandă numerică după program. Prelucrarea pe astfel de mașini conduce la reducerea costului prin eliminarea necesității de proiectare și realizare a dispozitivelor de burghiat cu bucșe de conducere. Trecerea de la prelucrarea unui tip de pîrghii la altul se face într-un timp foarte scurt, aproximativ egal cu cel necesar întocmirii programului și imprimării acestuia pe purtătorul de program. Trecerea de la utilizarea mașinilor-unelte clasice la cele cu comandă numerică după program, trebuie să se facă numai pe baza unui calcul tehnico-economic.

În producția de serie mare și de masă, la executarea pîrghiilor se folosesc dispozitive cu mai multe „cuiburi" și agregate multipoziționale, cu ciclu continuu de prelucrare. În figura 12.2.7 este prezentată schema unui agregat cu masă circulară rotativă, pe care sînt fixate 12 dispozitive cu acționare hidrau-

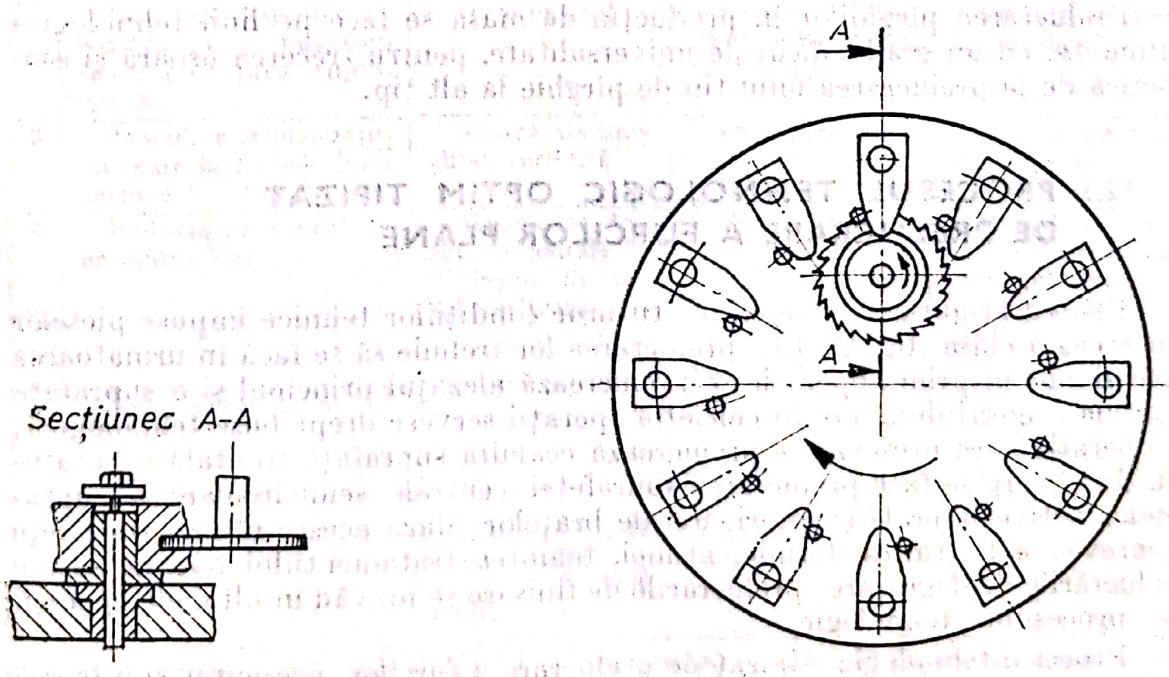


Fig. 12.2.7. Schema de principiu a unui agregat cu masă rotativă pentru frezarea pîrghiilor.

Scanned with OKEN Scanner

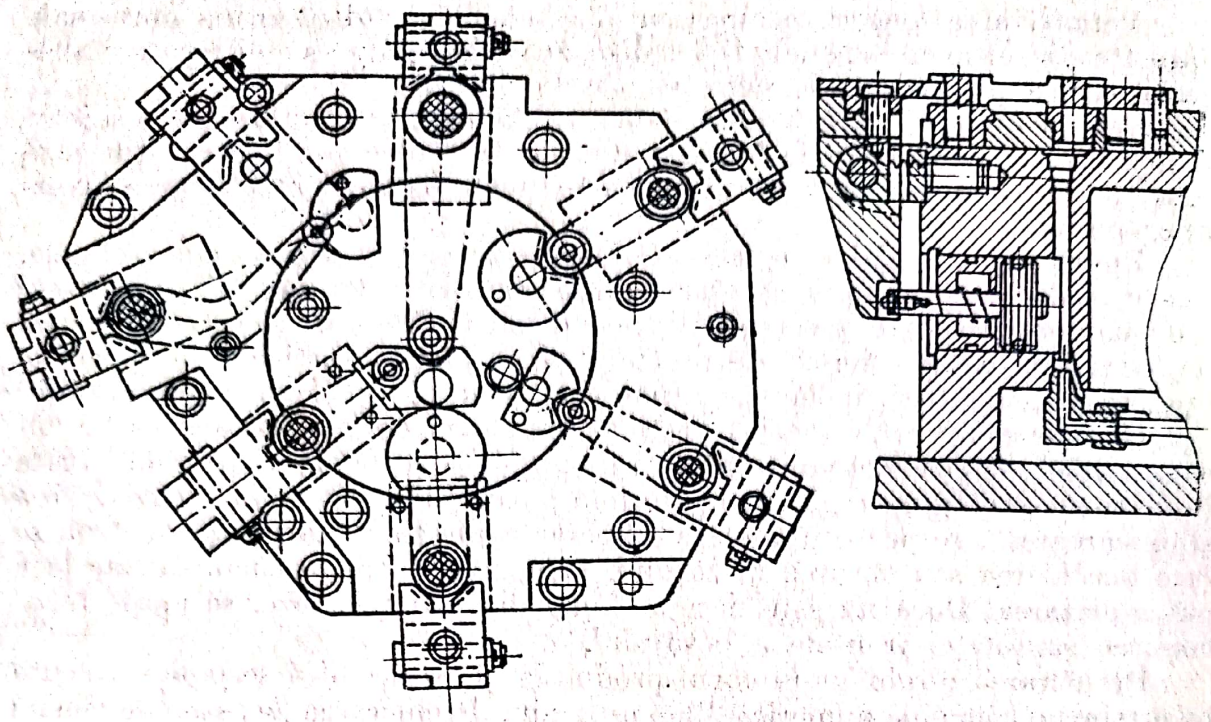


Fig. 12.2.8. Prelucrarea în grup a unor pîrghii diferite pe un agregat vertical cu masă rotativă.

lică, pentru frezarea cu freză disc a canalului despărțitor. La apropierea piesei de zona de lucru, aceasta se fixează (se strînge) automat în dispozitiv, iar după efectuarea prelucrării tot automat se desprinde. Agregatul este prevăzut cu post de încărcare-descărcare, la care lucrul muncitorului se suprapune peste timpul de bază.

În figura 12.2.8 este reprezentată prelucrarea în grup a șase pîrghii diferite, pe un agregat vertical cu masă rotativă și cu post de încărcare-descărcare, la fel ca cel din figura 12.2.7. Pe masa mașinii, după cum se observă, sînt fixate pentru fiecare tip de pîrghie, cîte un dispozitiv cu prismă.

Prelucrarea pîrghiilor în producția de masă se face pe linii tehnologice automate, cu un grad ridicat de universalitate, pentru trecerea ușoară și economică de la prelucrarea unui tip de pîrghie la alt tip.

12.3. PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A FURCILOR PLANE

Pentru asigurarea îndeplinirii tuturor condițiilor tehnice impuse pieselor din această clasă (fig. 12.3.1), prelucrarea lor trebuie să se facă în următoarea succesiune: în prima operație se prelucrează alezajul principal și o suprafață frontală a bosajului, care în celelalte operații servesc drept baze tehnologice; în operația care urmează se prelucrează cealaltă suprafață frontală a bosajului, după care se face prelucrarea suprafeței centrale semicirculare a suprafețelor active laterale și interioare ale brațelor; dacă aceste ultime suprafețe se prevăd a fi tratate termic, atunci, înaintea tratamentului termic, se fac prelucrările de degroșare; prelucrările de finisare se prevăd în ultimele operații ale procesului tehnologic.

Procesul tehnologic tipizat de prelucrare a furcilor, prezentat sub formă de fișă tehnologică, este dat în tabelul 12.3.1.

Scanned with OKEN Scanner

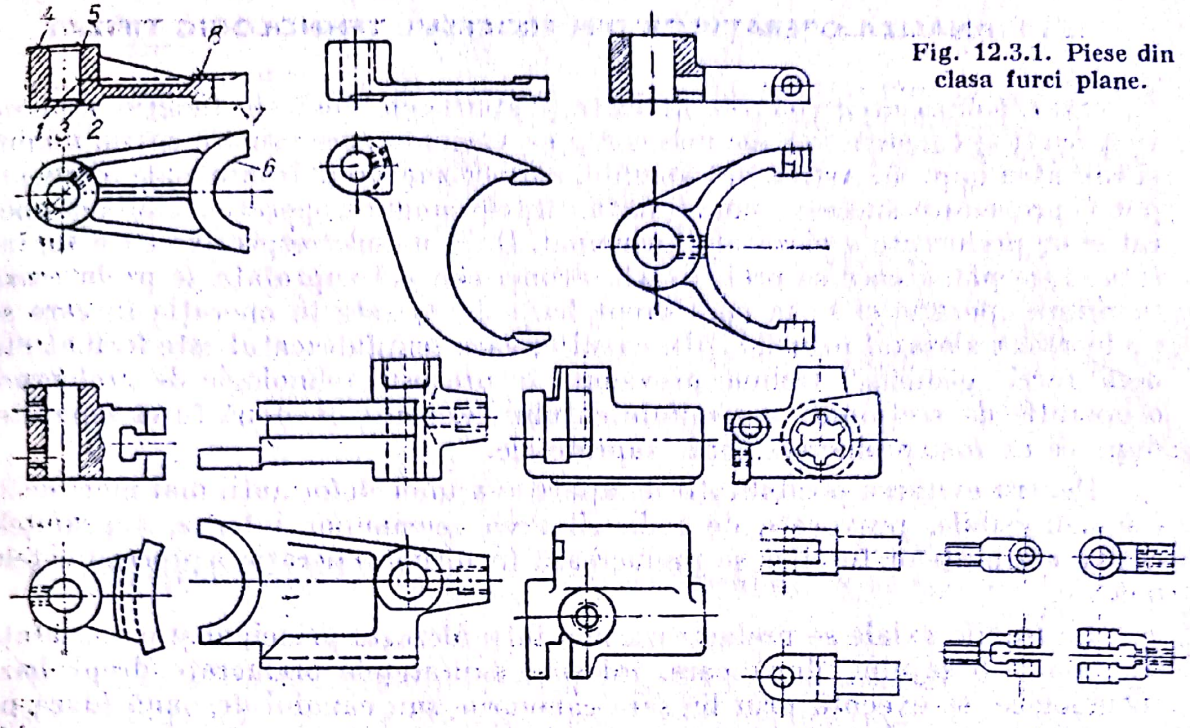


Fig. 12.3.1. Piese din clasa furci plane.

Tabelul 12.3.1

Fişă tehnologică cu procesul tehnologic de prelucrare a furcilor plane

Nr. operaţiei	Conţinutul operaţiei	Utilajul folosit în producţia de:		
		unicate	serie	masă
1	Burghierea şi zencuirea alezajului principal 1; lamarea suprafeţei frontale 2 a bosajului înalt şi teşirea suprafeţei 3; alezarea alezajului 1	Maşină de burghiat verticală Maşină de burghiat cu coloană	Maşină de burghiat verticală cu cap multiax	Agregat cu patru posturi şi cu masă rotativă (un post este de încărcare-descărcare
2	Lamarea suprafeţei frontale 4 a bosajului scurt şi teşirea suprafeţei 5	Idem operaţia 1	Maşină de burghiat verticală sau cu coloană	Agregat cu masă rotativă
3	Zencuirea semialezajului mare la ambele furci „gemene", simultan	Maşină de burghiat verticală	Idem operaţia 2	Agregat cu masă rotativă
4	Prelucrarea suprafeţelor active 7 şi 8	Maşină de frezat orizontală Maşină de frezat verticală	Maşină de frezat orizontală Maşină de frezat verticală Maşină de rectificat plan	Maşină de frezat verticală cu masă rotativă Maşină de broşat
5	Îndepărtarea bavurilor	—	—	Instalaţie de prelucrat pe cale electrochimică
6	Spălarea	—	—	Instalaţie de spălare şi uscare
7	Controlul final	Instrumente universale de măsurat	Verificarea	Aparate de control

Observaţie. Numerotarea suprafeţelor care se prelucrează se vede, pe piesa reprezentativă din figura 12.3.1.

Scanned with OKEN Scanner

Succesiunea de prelucrare indicată poate fi schimbată în funcție de particularitățile constructive ale pieselor și de varianta care asigură costul minim și calitatea impusă. Astfel, de exemplu, ambele suprafețe frontale ale bosajelor pot fi prelucrate succesiv sau simultan într-o singură operație, înaintea operației de prelucrare a alezajului principal. Dacă piesele respective au o suprafață mare plană care se prelucrează, atunci această suprafață se prelucrează în prima operație și se ia apoi drept bază de așezare în operația în care se prelucrează alezajul principal. În cazul în care semifabricatul este format din două furci „gemene", trebuie prevăzută în procesul tehnologic de prelucrare o operație de secționare a semifabricatului respectiv în două furci separate, după ce au fost prelucrate toate suprafețele.

Pentru evitarea posibilității de apariție a unor deformații mai mari decît cele admisibile, provocate de redistribuirea tensiunilor interne, suprafețele active ale brațelor furcilor se prelucrează în ultima operație a procesului tehnologic.

La furcile axiale se prelucrează mai întîi alezajul principal și o suprafață frontală a bosajului, după care, folosind suprafețele prelucrate drept baze tehnologice, se execută prin broșare canelurile sau canalul de pană (dacă pe desenul de execuție sînt prevăzute caneluri sau canal de pană). În operațiile următoare se prelucrează restul suprafețelor — suprafețele active și suprafața semicirculară — și alezajele mici.

Alegerea bazelor tehnologice. La prelucrarea furcilor, ca și la prelucrarea pîrghiilor, o problemă importantă care stă în fața tehnologului este alegerea bazelor tehnologice. Variantele de bazare a furcilor plane din semifabricate unitare sînt prezentate în figura 12.3.2. Se observă că baza de așezare este formată din suprafața frontală a bosajului și suprafețele frontale ale celor două brațe. Baza de ghidare este una din suprafețele active interioare ale unui braț, iar baza de reazem — suprafața exterioară circulară a bosajului, cînd piesa se reazemă într-o prismă (fig. 12.3.2, *a*), sau șanfrenul exterior al bosajului, cînd piesa este rezemată între trei bacuri (fig. 12.3. 2, *b*). În prima variantă, abaterea de la coaxialitatea alezajului și a bosajului este funcție de toleranța

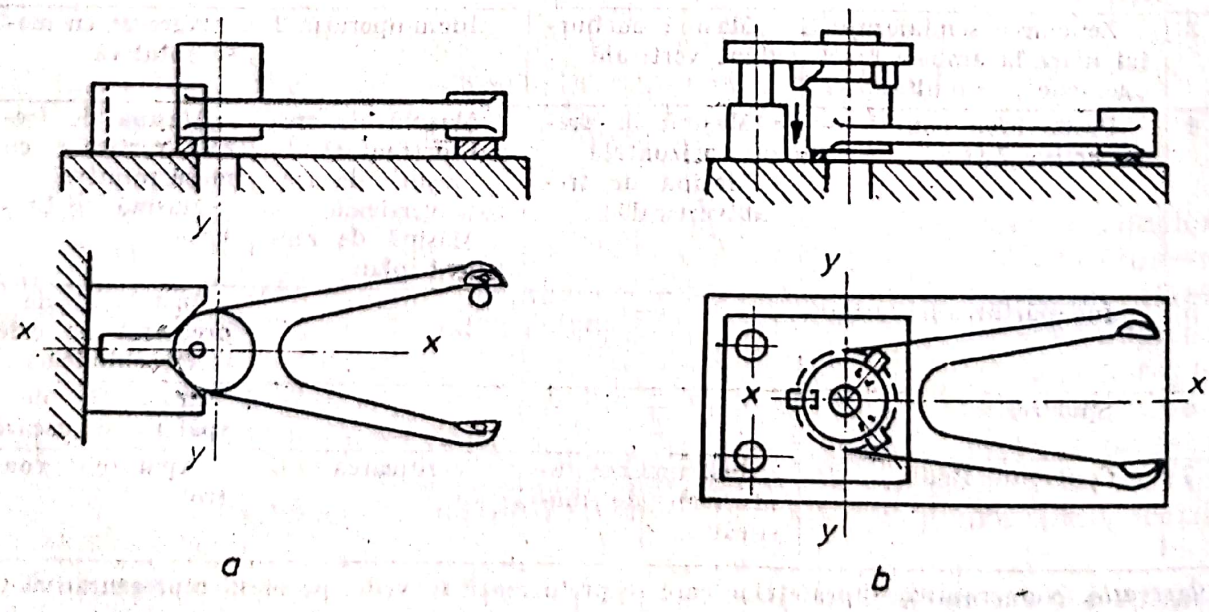


Fig. 12.3.2. Scheme de bazare a furcilor plane.

Scanned with OKEN Scanner

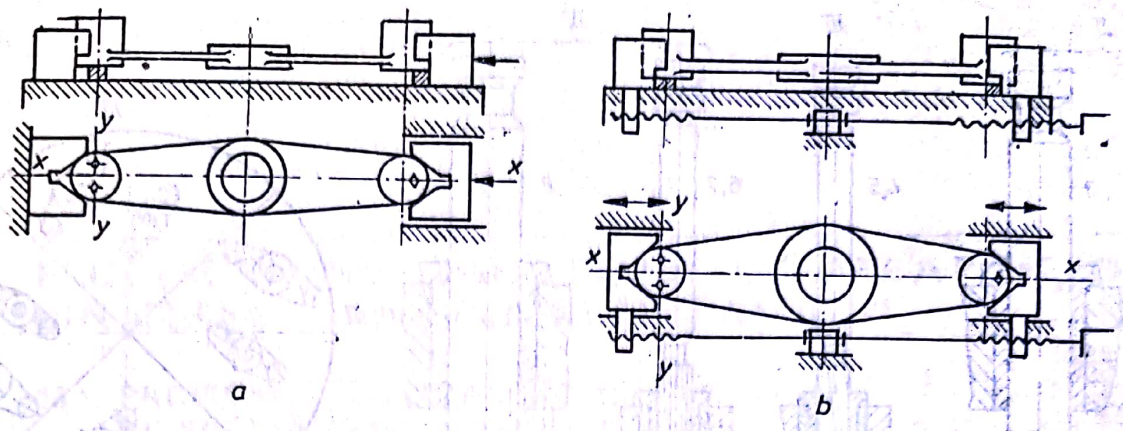


Fig. 12.3.3. Scheme de bazare a furcilor gemene.

la diametrul bosajului δ_D şi de mărimea unghiului α al prismei $\left(\frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}\right)$.

La bazarea după varianta a doua (fig. 12.3.2, *b*) eroarea de coaxialitate amintită este funcţie de abaterea de la perpendicularitate a suprafeţei şanfrenului faţă de axa de simetrie a bosajului. Din punct de vedere constructiv, varianta a doua este mai complexă decît prima variantă. Dacă suprafeţele active ale braţelor semifabricatului nu sînt suficient de precise, atunci drept bază de aşezare se ia o bază combinată, formată din suprafaţa frontală a bosajului şi suprafeţele laterale cele mai îndepărtate ale braţelor.

La prelucrarea semifabricatelor cu două furci „gemene", bazarea se poate face după două variante (fig. 12.3.3). Abaterile de la coaxialitate sînt analoage celor din variantele *c* şi *e* analizate în cazul prelucrării pîrghiilor cu două bosaje scurte.

Bazarea furcilor alungite cu bosaj lung poate fi similară uneia din variantele de bazare ale pîrghiilor cu bosaj lung.

Alegerea procedeelor şi a metodelor de prelucrare. În general, alegerea se face la fel ca la pîrghii. Retezarea (divizarea) semifabricatelor cu două furci „gemene" se face, de obicei, cu freze disc pe maşini de frezat orizontale. Canalele de pană frontale şi renurile furcilor se frezează, iar în producţia de masă şi serie mare se broşează. Suprafeţele plane active ale braţelor se prelucrează prin frezare cu un complet de freze cilindro-frontale, atunci cînd semifabricatele au fost obţinute prin turnare clasică sau matriţare. Cînd semifabricatele sînt obţinute prin turnare de precizie (în modele fuzibile) sau care, după matriţare, au fost calibrate, suprafeţele menţionate se pot prelucra prin rectificare plană. Pentru îmbunătăţirea rezistenţei la uzură a suprafeţelor active ale braţelor furcilor acestea se tratează termic (călire şi revenire). După tratamentul termic se execută rectificarea plană. Cînd suprafeţele active sînt plane paralele, acestea se prelucrează, în producţia de masă şi serie mare, prin broşare.

Alegerea utilajelor şi a dispozitivelor. Întrucît există multă asemănare între tehnologia de prelucrare a furcilor şi a pîrghiilor, atît modul de organizare a producţiei, cît şi utilajele folosite sînt, în general, similare. Astfel, de exemplu, în figura 12.3.4 este reprezentată schema de reglaj pentru prelucrarea celor două alezaje de la două furci „gemene", în condiţiile unei producţii de masă şi serie mare, pe un agregat de burghiat cu patru posturi de lucru (unul este

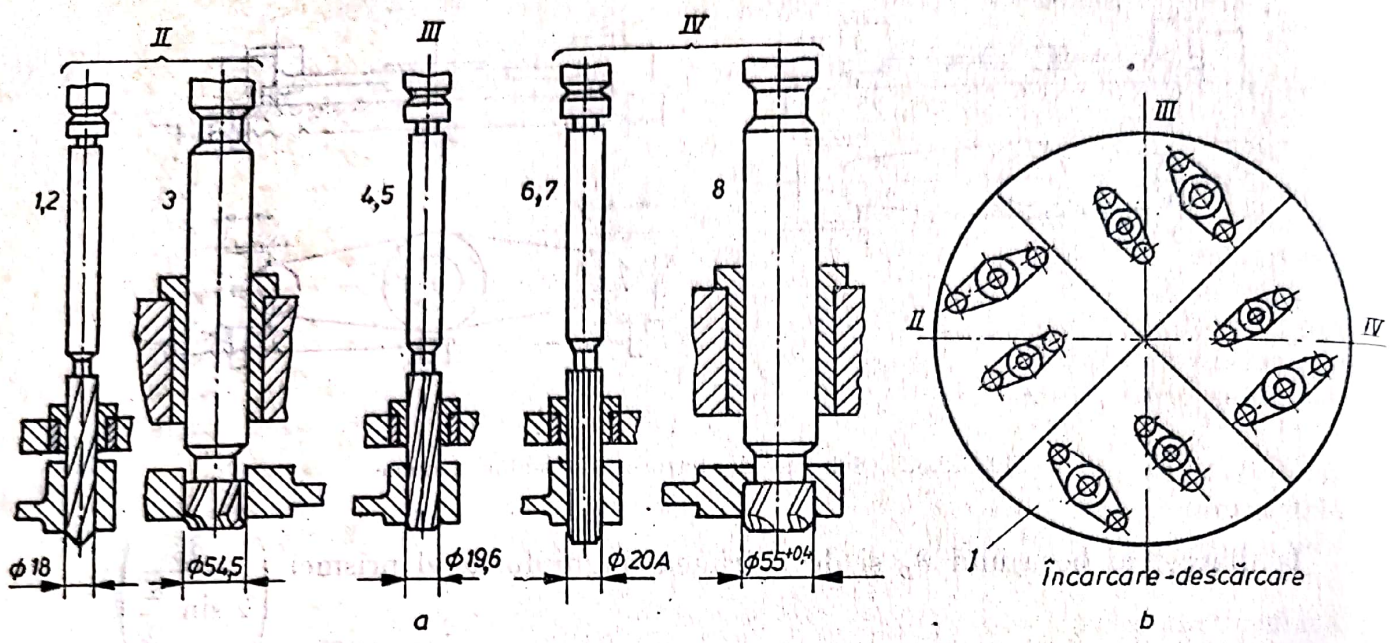


Fig. 12.3.4. Prelucrarea pîrghiilor pe un agregat cu patru posturi.

de încărcare-descărcare) și cu masă rotativă. Pe agregatul respectiv are loc prelucrarea simultană (de grup) a două tipuri de furci.

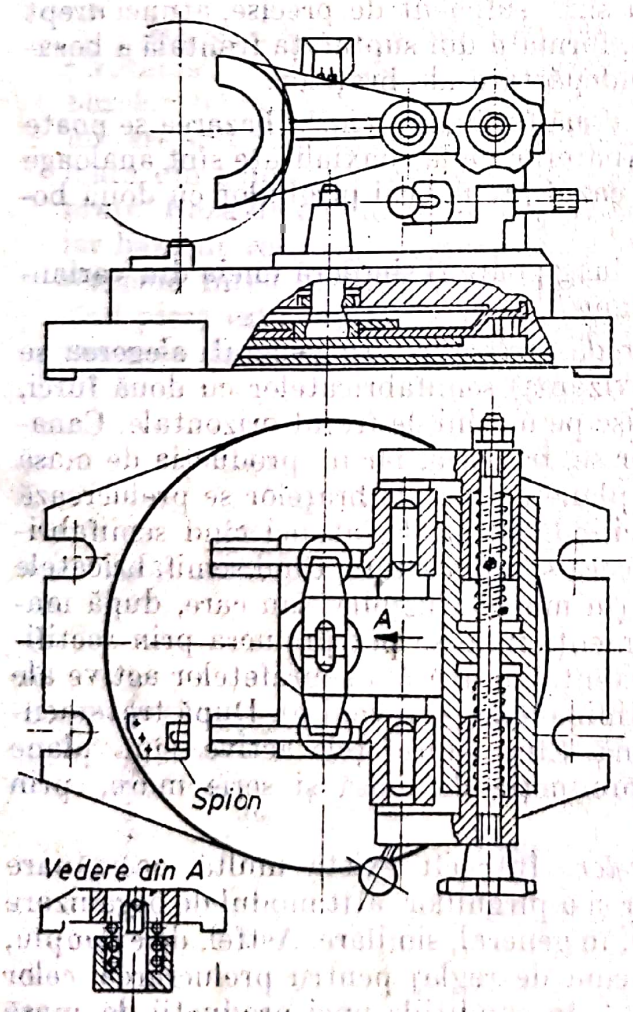


Fig. 12.3.5. Dispozitiv pentru frezarea simultană a două furci.

Tehnologia de grup la prelucrarea furcilor este la fel de răspîndită ca și la prelucrarea pîrghiilor pe baza acelorași considerente. La prelucrarea acelorași suprafețe ale furcilor ca și ale pîrghiilor, ca de exemplu, suprafețele frontale ale bosajelor și a celor interioare, este rațional a se utiliza aceleași dispozitive de bază, echipate cu diferite elemente schimbabile.

Pentru prelucrarea suprafețelor specifice furcilor, ca, de exemplu retezarea furcilor din semifabricatele „gemene" pentru prelucrarea suprafețelor active se folosesc dispozitive de grup speciale. Astfel, pentru prelucrarea prin frezare a suprafețelor active frontale la cîte două furci simultan, cu un complet de patru freze frontale se utilizează un dispozitiv ca cel reprezentat schematic în figura 12.3.5. Aceste suprafețe pot fi prelucrate printr-o frezare continuă, cu un complet de două freze cilindro-frontale fixate pe masa rotativă a unei freze verticale, similară celei prezentate în figura 12.2.7.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 13

PROCESE TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „CAME PLANE ȘI SPAȚIALE"

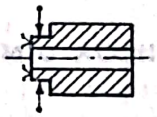
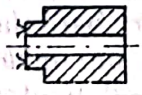
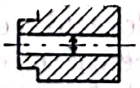
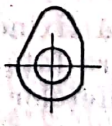
13.1. PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A CAMELOR

Funcție de caracterul mișcării relative a camei și tachetului se pot deosebi came prismatice, disc, cilindrice, conice, globoidale, hiperbolice etc. Cele mai răspîndite din acestea sînt camele prismatice, cilindrice și cele disc (fig. 13.1.1).

Prelucrarea camelor se poate face după diferite variante de procese tehnologice. În tabelul 13.1.1 este prezentată o succesiune rațională a ope-

Tabelul 13.1.1

Procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a camelor

Nr. operației	Denumirea și conținutul operației	Schiță pentru prelucrarea camelor	
		disc	cilindrice
10	Strunjirea de degroșare a suprafeței frontale, interioare și exterioare cu diametru mare		
20	Tratament termic; normalizare		
30	Broșarea alezajului central cilindric sau cu caneluri		
40	Strunjirea de finisare a suprafețelor frontale și exterioare, piesa fiind fixată pe dorn între vîrfuri		
50	Burghiere respectiv broșare		
60	Fixarea piesei pe dorn Fixarea profilului: *a* — degroșare; *b* — finisare		
70	Tratament termic; călire, revenire sau cementare, călire și revenire		
80	Rectificare interioară. Fixare după suprafața exterioară a butucului		
90	Fixarea piesei pe dorn Rectificarea profilului		
100	Controlul final		

Scanned with OKEN Scanner

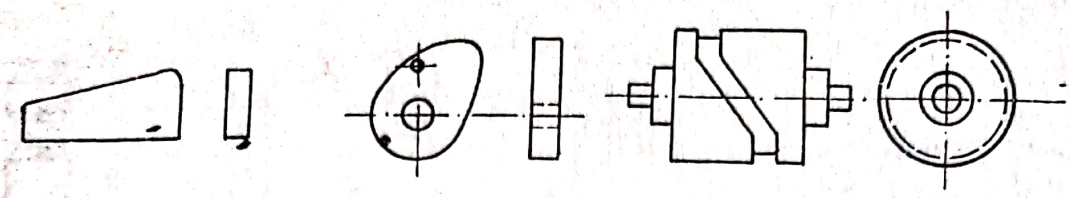


Fig. 13.1.1. Piese din clasa came.

rațiilor unei variante de proces tehnologic, care poate fi considerat ca proces tehnologic tip, indicîndu-se numai acele operații care se referă la prelucrarea celor mai importante suprafețe ale camei. Diversele operații din procesul tehnologic, ca de exemplu burghierea alezajelor auxiliare, de fixare, frezarea bosajelor pentru filete și a altor suprafețe sînt excluse intenționat.

În primele operații de prelucrare a camelor (pînă la cele în care se face frezarea profilului) se realizează suprafețele care constituie bazele de așezare (alezajul central și fixatorii unghiulari), utilizate în prelucrările ulterioare, la operațiile de control și la asamblare. La prelucrarea alezajului central și a fixatorilor unghiulari trebuie să se asigure precizia formei, a dimensiunilor și a poziției reciproce a acestora precum și a poziției lor față de suprafața profilată a semifabricatului. De precizia coordonatelor elementelor de bază față de suprafața profilată a semifabricatului depinde dispunerea uniformă a adaosului de prelucrare pentru operațiile de prelucrare prin copiere.

13.1.1. ANALIZA OPERAȚIILOR DIN PROCESUL TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT

Operațiile *10* și *40* (v. tab. 13.1.1) de strunjire impune acordarea unei atenții deosebite modului de fixare a semifabricatului pe mașină. Astfel, semifabricatele cilindrice din bară laminată, turnate, matrițate sau forjate liber se fixează pe mașină în universale cu autocentrare. Acest mod de fixare a semifabricatelor este comod pentru toate camele care au butuc sau alte elemente concentrice cu alezajul central. Semifabricatele camelor care nu au butuc sau elemente concentrice cu alezajul central se fixează pentru prelucrarea pe strung după unul din următoarele două moduri:

— în universale cu bacuri, pe suprafața profilată a semifabricatelor prelucrată în prealabil;

— pe platoul strungului, centrate după alezajul central.

Fixarea semifabricatelor pe suprafața profilată impune strunjirea prealabilă a bacurilor universalului după profilul suprafeței semifabricatelor și orientarea acestora din urmă în universal în poziția corespunzătoare după linia de reper executată pe suprafața lor frontală.

Operația *40* se realizează fixînd pe dorn pentru a se asigura concentricitatea suprafețelor exterioare față de suprafața alezajului central, precum și perpendicularitatea suprafețelor frontale pe axa de rotație a camei.

În producția de serie mică și de unicate operațiile *10* și *30* se contopesc într-o singură operație, precum și în cazul prelucrării pe strunguri revolver.

Prelucrarea elementelor de fixare unghiulară în cadrul operației *50* impune fixarea, în prealabil, a piesei pe mașină într-o poziție foarte bine determinată, cu ajutorul unor fixatori cu canal de pană, cu caneluri, cu găuri speciale sau cu alte elemente.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru determinarea elementelor de fixare față de profilul camei se folosesc șabloane de trasaj (figura 13.1.2). Șabloanele, prevăzute cu dopuri de centrare, au conturul cu 2—3 mm mai mic decît cama, pentru ca așezarea acestuia să se facă cît mai corect. În cazul camelor cilindrice, așezarea șablonului se face luînd drept linie de reper muchia canalului profilat (fig. 13.1.2, *b*). Tăietura în șablon este făcută pentru a se putea trasa pe camă linia de reper după care se fixează apoi placa dispozitivului prevăzut cu bucșe de conducere pentru executarea găurilor de fixare unghiulară.

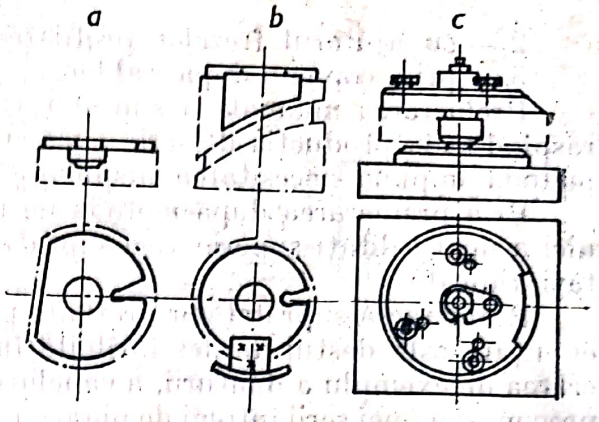


Fig.13.1.2. Tipuri de șabloane pentru trasaj.

Prelucrarea suprafețelor profilate ale camelor prevăzute în operațiile *10—70* și *100* din fișa tehnologică este cea mai dificilă prelucrare din întreg procesul tehnologic de prelucrarea camelor. Se poate executa pe mașini de frezat prin copiere după șablon sau pe mașini de frezat cu comandă numerică după program.

Particularitatea acestei prelucrări (prin frezare și rectificare) constă în aceea că alegerea succesiunii trecerilor și modul de prelucrare propriu-zisă este foarte simplă datorită automatizării ciclului de lucru prin copiere. Mai dificilă însă este asigurarea preciziei de prelucrare impusă profilului camei, care implică cunoașterea de către inginerul tehnolog a legilor de bază a procesului de copiere și respectarea anumitor dependențe.

Aproape toate mașinile de frezat prin copiere după șablon pot fi incluse în una din următoarele două grupe:

— mașini la care distanța dintre axele de simetrie ale palpatorului și sculei nu este egală cu distanța dintre axele de simetrie ale șablonului și piesei, respectiv ale camei; în acest caz se prevede dinainte reglarea poziției palpatorului față de scula aschietoare, reglare care se face prin reglarea sistemului tehnologic;

— mașini la care distanța dintre axele de simetrie menționate sînt egale între ele; la astfel de mașini de copiat poziția palpatorului față de axa de rotație a axului principal al mașinii nu se reglează.

La mașinile din prima grupă profilul șablonului este conoid în raport cu profilul camei. Profilele șablonului și camei la mașinile din grupa a doua sînt reciproc-echidistante.

Se reamintește că conoida este curba echidistantă față de curba de bază în direcția razei-vector, iar echidistanta este curba echidistantă în direcția normalei comune la fiecare punct al profilului. În mod corespunzător, șabloanele utilizate la mașinile din prima grupă se numesc convențional conoide, iar cele utilizate la mașinile din a doua grupă—echidistante.

13.1.1.1. **Prelucrarea suprafețelor profilate ale camelor prin copiere pe mașini universale de frezat.** O foarte mare parte din piesele de mașini cu suprafețe profilate se prelucrează prin frezare.

Prelucrarea prin frezare a suprafețelor profilate se poate face prin mai multe metode și anume:

1 — manual prin acționarea simultană a avansului longitudinal și transversal;

2 — cu ajutorul frezelor profilate sau a unui complet de freze;
3 — prin copiere după șablon.

Prelucrarea manuală a suprafețelor profilate prin frezare este mai larg răspîndită în producția de serie mică și individuală. Prelucrarea după această metodă impune necesitatea dispunerii de mînă cu o înaltă calificare.

Prin prelucrarea după metoda de mai sus nu se poate asigura obținerea nici a unei calități superioare a suprafeței prelucrate și nici a unei productivități ridicate.

Prelucrarea suprafețelor profilate prin frezare după cea de a doua metodă enunțată este destul de des întîlnită în toate tipurile de producții, la prelucrarea de exemplu a danturii, a canelurilor, a filetelor mari, a diferitelor scule, precum și a unei serii întregi de piese cu un profil mai simplu sau mai complicat.

Frezele profilate folosite în acest scop sînt freze detalonate în general. Frezele folosite la prelucrarea suprafețelor profilate cu ajutorul jocurilor de freze sînt freze frezate, cu profile simple.

Prelucrarea cu frezele profilate este foarte costisitoare și puțin productivă, întrucît se lucrează cu un regim de așchiere redus din cauza variației adîncimii de așchiere și a diametrelor relativ mici ale frezelor, precum și din motive de prevenire a ruperii lor, dat fiind costul lor foarte ridicat în comparație cu al frezelor frezate.

Frezarea profilată se poate face (funcție de profilul și dimensiunile piesei ce se prelucrează) cu freze cilindrice, deget sau freze disc profilate.

Frezarea suprafețelor profilate prin copiere după șablon este o metodă foarte răspîndită atît în producția de serie mare cît și în cea de masă, întrucît asigură obținerea unei precizii mari de prelucrare (funcție în primul rînd de precizia șablonului), a unei calități a suprafeței, precum și a unei productivități ridicate.

Frezarea după șablon se poate face fie cu ajutorul unui simplu dispozitiv mecanic, ce se fixează pe masa mașinii de frezat vertical, fie cu ajutorul unui dispozitiv hidraulic, electric sau electronic ce face parte din schema cinematică a unei mașini speciale de prelucrat suprafețe profilate prin copiere după șablon sau desen.

În general, la frezarea prin copiere după șablon problema principală care se pune a fi în primul rînd rezolvată de către tehnolog este determinarea profilului șablonului după (funcție de) profilul piesei ce se prelucrează, precum și determinarea preciziei de prelucrare funcție de precizia șablonului.

Drept exemplu pentru rezolvarea acestei probleme se ia cazul cînd copierea după șablon se face cu ajutorul unui dispozitiv mecanic fixat pe masa unei mașini de frezat vertical (sau pe masa mașinii de frezat orizontal prevăzută cu un cap de frezat vertical). În figura 13.1.3 este reprezentat schematic un astfel de dispozitiv.

Principiul de lucru după șablon constă în faptul că mișcarea de avans transversal este realizată de contragreutatea G, care presează (apasă) tot timpul șablonul de rolă, șurubul conducător al saniei fiind scos. Avansul longitudinal al saniei este realizat cu ajutorul șurubului conducător al saniei longitudinale. Atît șablonul cît și piesa sînt fixate pe sania transversală, ceea ce face ca profilul șablonului, prin deplasarea saniei longitudinale, să se copieze pe piesă.

Deci, după cum se vede din figura 13.1.3, șablonul este apăsat împotriva rolei cu o forță oarecare Q, care asigură pe de o parte un contact permanent între șablon și rolă, iar pe de altă parte ajută la desfășurarea pro-

Scanned with OKEN Scanner

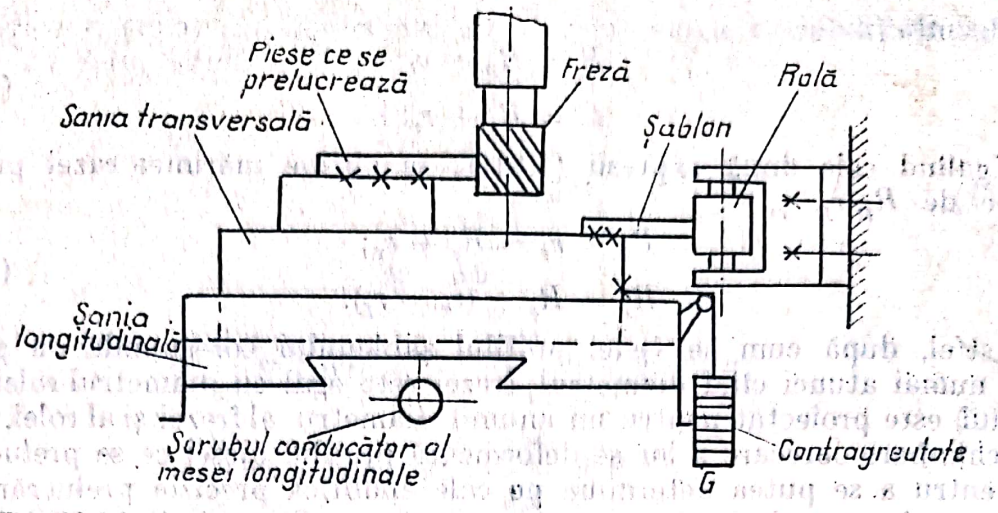


Fig. 13.1.3. Reprezentarea schematică a dispozitivului cu acționare mecanică pentru frezarea după șablon.

cesului de copiere. Acest lucru este reprezentat mai sugestiv în figura 13.1.4 unde se vede o parte din profilul șablonului și rola care apasă asupra lui cu forța Q, care se descompune într-o forță N normală pe tangenta în punctul de contact al rolei cu șablonul, forță care asigură realizarea unui contact permanent între rolă și șablon, precum și într-o forță T paralelă cu tangenta în punctul de contact al rolei cu șablonul, forță ce realizează deplasarea șablonului prin fața rolei. Această ultimă forță T trebuie să fie mai mare decît forța de așchiere și cea de frecare dintre rolă și șablon.

Pentru a obține valoarea corespunzătoare forței T, trebuie să se aplice asupra rolei o forță $Q = \dfrac{T}{\sin \varphi}$. Dacă unghiul φ este prea mic rezultă pentru Q o forță prea mare, care poate duce la ruperea mecanismului sau la griparea lui. Practic unghiul φ se ia egal cu 30°, adică $Q = 2T$.

Examinînd în primul rînd problema preciziei de prelucrare, observăm următoarea situație generală.

Centrul frezei și al rolei în mișcarea lor față de piesă și șablon descriu aceleași curbe, figura 13.1.5. Dacă notăm cu R raza curburii traiectoriei centrului frezei și a rolei, urmărind figura 13.1.5 se poate vedea că:

$$R_p = R - r_f;$$
$$R_ș = R - r_r.$$

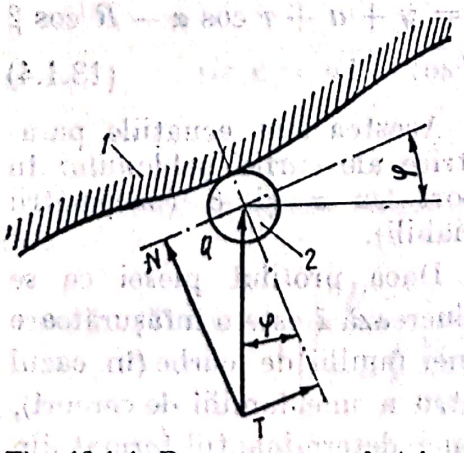


Fig. 13.1.4. Descompunerea forței de apăsare Q.

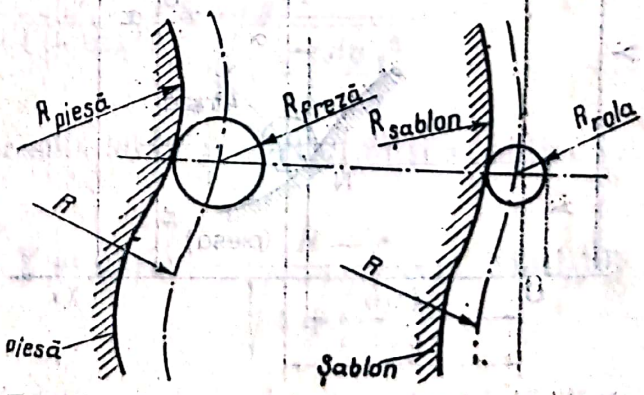


Fig. 13.1.5. Segment din profilul șablonului și al piesei.

Rezultă:

$$\begin{aligned} R &= R_p + r_f; \\ R &= R_s + r_r. \end{aligned} \tag{13.1.1}$$

Egalînd cele două expresii (13.1.1) se obține mărimea razei piesei în funcție de R_s, r_f, r_r,

$$\begin{aligned} R_p + r_f &= R_s + r_r; \\ R_p &= R_s + (r_r - r_f). \end{aligned} \tag{13.1.2}$$

Astfel, după cum se vede, profilul șablonului corespunde cu profilul piesei numai atunci cînd diametrul frezei este egal cu diametrul rolei. Dacă șablonul este proiectat pentru un anumit diametru al frezei și al rolei, atunci la o schimbare oarecare a lor se deformează profilul piesei ce se prelucrează.

Pentru a se putea determina pe cale analitică precizia prelucrării prin copiere pe freză trebuie să avem dependența analitică dintre profilul piesei și al șablonului. Pentru aceasta, fie de exemplu, figura 13.1.6, o parte din profilul piesei *1*, determinat de ecuația respectivă în coordonate rectangulare. În același sistem de coordonate rectangulare avem și șablonul *2* pe care alunecă rola *3*. Rola *3* este legată rigid de freza *4* și împreună cu ea se mișcă pe traiectoria dictată de șablon.

Din figura 13.1.6 se vede că:

$$\begin{cases} X = k - R \sin \beta \\ Y = H - R \cos \beta \end{cases}$$

$$k = x + r \sin \alpha \tag{13.1.3}$$

$$H = h + a$$

$$h = y + r \cos\alpha$$

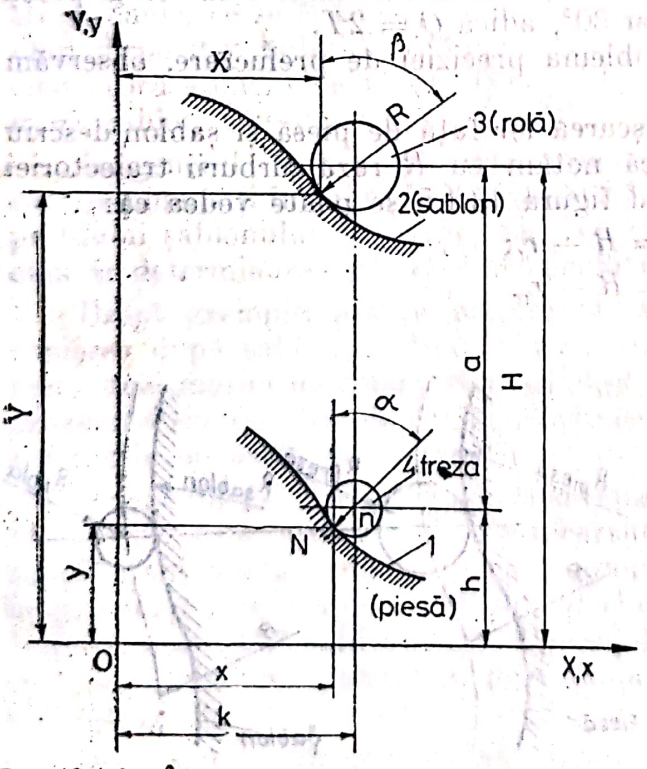


Fig. 13.1.6. Înscrierea profilului șablonului și al piesei într-un sistem de axe rectangulare.

Rezultă:

$$H = y + a + r \cos \alpha.$$

Introducînd valoarea lui K și H în expresiile (13.1.3) se obține:

$$\begin{cases} X = x + r \sin \alpha - R \sin \beta \\ Y = y + a + r \cos \alpha - R \cos \beta \end{cases} \tag{13.1.4}$$

Acestea sînt ecuațiile parametrice ale curbei șablonului în raport cu α și β (parametrii variabili).

Dacă profilul piesei ce se prelucrează *1* este o înfășurătoare a unei familii de curbe (în cazul nostru a unei familii de cercuri), atunci determinantul format din derivatele parțiale ale ecuației

parametrice a curbei în raport cu α și β (parametrii variabili), trebuie să fie egal cu zero, adică:

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial X}{\partial \alpha} & \frac{\partial X}{\partial \beta} \\ \frac{\partial Y}{\partial \alpha} & \frac{\partial Y}{\partial \beta} \end{vmatrix} = 0. \tag{13.1.5}$$

Deci:

$$\frac{\partial X}{\partial \alpha} = r\cos\alpha; \qquad \frac{\partial Y}{\partial \alpha} = -r\sin\alpha;$$
$$\frac{\partial X}{\partial \beta} = -R\cos\beta; \quad \frac{\partial Y}{\partial \beta} = R\sin\beta. \tag{13.1.6}$$

Dacă se scrie determinantul desfășurat $\frac{\partial X}{\partial \alpha}\cdot\frac{\partial Y}{\partial \beta} - \frac{\partial Y}{\partial \alpha}\cdot\frac{\partial X}{\partial \beta} = 0$ și se introduc derivatele din (13.1.6) mai sus se obține:

$$r\cos\alpha R\sin\beta - [-r\sin\alpha(-R\cos\beta)] = r\cos\alpha R\sin\beta - r\sin\alpha R\cos\beta = 0$$
$$Rr(\sin\beta\cos\alpha - \cos\beta\sin\alpha) = 0$$
$$Rr\sin(\beta-\alpha) = 0$$
$$\sin(\beta-\alpha) = 0 \tag{13.1.7}$$
$$\beta = \alpha$$

Se introduce relația obținută în ecuațiile parametrice ale lui X și Y (13.1.4) și rezultă:

$$\begin{cases} X = x + r\sin\alpha - R\sin\alpha = x - (R-r)\sin\alpha \\ Y = y + a + r\cos\alpha - R\cos\alpha = y + a - (R-r)\cos\alpha \end{cases} \tag{13.1.8}$$

Valorile lui $\cos\alpha$ și $\sin\alpha$, după cum se știe, sînt:

$$\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2}};$$
$$\sin\alpha = \sqrt{1-\cos^2\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1+\operatorname{ctg}^2\alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}}. \tag{13.1.9}$$

Se introduc aceste valori în expresiile lui X și Y (13.1.8) și se obține în final:

$$X = x - \frac{R-r}{\sqrt{1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2}}; \quad Y = y + a - \frac{R-r}{\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}}. \tag{13.1.10}$$

Expresiile găsite ale lui X și Y dau coordonatele profilului, dacă sînt cunoscute coordonatele profilului piesei ce se frezează.

Scanned with OKEN Scanner

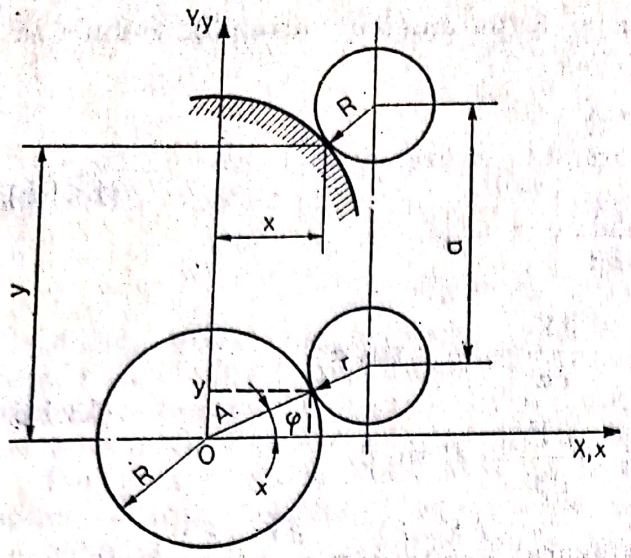


Fig. 13.1.7. Schemă pentru determinarea coordonatelor profilului șablonului funcție de ale piesei.

Fie astfel să se determine coordonatele X și Y ale șablonului, dacă profilul piesei este determinat de circumferința cu raza A și coordonatele x și y (fig. 13.1.7).

Ecuația circumferinței piesei cu centrul în origine este:

$$x^2 + y^2 = A^2$$

Trebuie să se găsească:

$$\frac{dy}{dx} \text{ și } \frac{dx}{dy}$$

$$y = \sqrt{A^2 - x^2}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{2}(A^2 - x^2)^{-\frac{1}{2}}(-2x) =$$

$$= -\frac{x}{\sqrt{A^2 - x^2}} = -\frac{x}{y}$$

$$x = \sqrt{A^2 - y^2}; \quad \frac{dx}{dy} = -\frac{y}{\sqrt{A^2 - y^2}} = -\frac{y}{x}.$$

Se introduc valorile derivatelor în expresiile lui X și Y (13.1.10) și se obține:

$$X = x - \frac{R - r}{\sqrt{1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2}} = x - \frac{(R - r)x}{\sqrt{x^2 + y^2}} = x - \frac{(R - r)x}{A}; \qquad (13.1.11)$$

$$Y = y + a - \frac{R - r}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{y}\right)^2}} = y + a - \frac{(R - r)y}{A}.$$

Din figura 13.1.7 se vede că:

$$\begin{cases} x = A\cos\varphi \\ y = A\sin\varphi \end{cases}$$

Se introduc valorile lui x și y în expresiile lui X și Y și se obține:

$$X = A\cos\varphi - \frac{(R - r)A\cos\varphi}{A} = A\cos\varphi - (R - r)\cos\varphi = (A - R + r)\cos\varphi;$$

$$Y = A\sin\varphi + a - \frac{(R - r)A\sin\varphi}{A} = (A - R - r)\sin\varphi + a \qquad (13.1.12)$$

Prin eliminarea parametrului φ se obține ecuația profilului șablonului. Pentru aceasta se ridică la pătrat ecuațiile (13.1.12), după ce mai întîi s-a trecut a în membrul sting și se obține:

$$X^2 = (A - R + r)^2\cos^2\varphi;$$

$$(Y - a)^2 = (A - R + r)^2\sin^2\varphi. \qquad (13.1.13)$$

Se adună cele două ecuații și obținem:

$$X^2 + (Y - a)^2 = (A - R + r)^2\cos^2\varphi + (A - R + r)^2\sin^2\varphi =$$

$$= (A - R + r)^2(\cos^2\varphi + \sin^2\varphi) = (A - R + r)^2. \qquad (13.1.14)$$

Scanned with OKEN Scanner

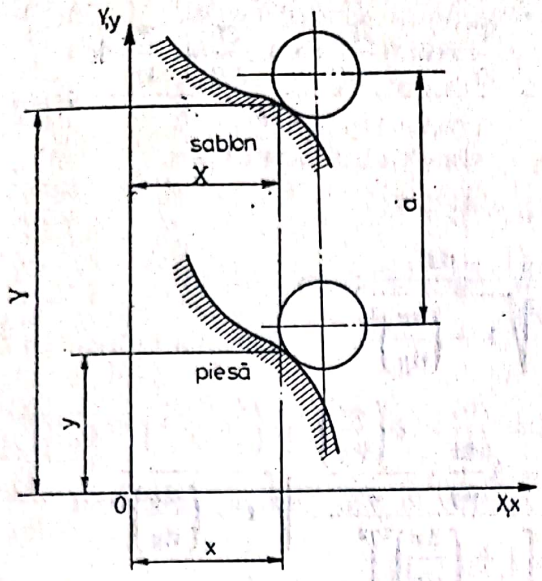


Fig. 13.1.8. Schemă pentru determinarea coordonatelor profilului șablonului funcție de ale piesei cînd diametrul rolei este egal cu al frezei.

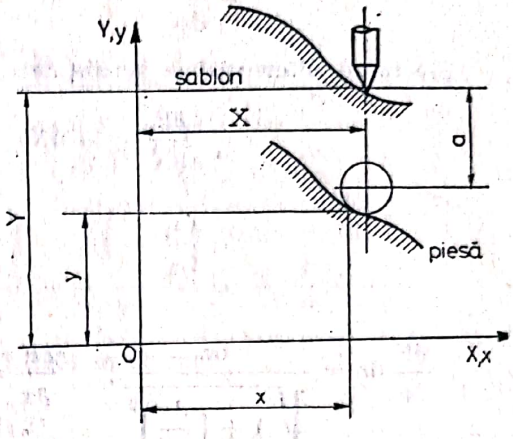


Fig. 13.1.9. Schemă pentru determinarea coordonatelor profilului șablonului funcție de ale piesei cînd diametrul rolei este aproximativ egal cu zero, iar al frezei diferit de zero.

Relația (13.1.14) este ecuația circumferinței șablonului cu centrul la distanța a de la originea sistemului de coordonate și cu raza egală cu $A - R + r$.

Din ecuațiile (13.1.10) pot fi obținute următoarele cazuri particulare la lucrul pe mașinile de frezat prin copiere:

1 — dacă diametrul frezei este egal cu diametrul rolei, atunci $X = x$; $Y = y + a$ (vezi fig. 13.1.8).

2 — dacă de-a lungul profilului alunecă un palpator cu vîrful ascuțit $R \approx 0$, iar $r \neq 0$ (fig. 13.1.9), atunci:

$$X = x + r\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2}}; \qquad Y = y + a + r\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}}.$$

3 — dacă $a = 0$, freza și rola sînt fixate coaxial.

Precizia frezării de copiere după șablon va depinde în general de precizia diametrelor frezei r și a rolei R, de precizia însăși a șablonului, respectiv a coordonatelor șablonului și de precizia distanței a între axa frezei și a rolei.

Dimensiunile piesei prelucrate prin frezare de copiere după șablon se caracterizează prin coordonatele x și y. Să se determine precizia dimensiunilor obținute x și y în urma prelucrării, în funcție de erorile amintite mai sus.

În acest scop expresiile (13.1.10) se scriu sub forma:

$$F = x - X - \frac{R-r}{\sqrt{1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2}} = 0; \qquad f = y - Y + a - \frac{R-r}{\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}}. \tag{13.1.15}$$

Erorile dimensiunilor x și y se determină ca sumă a diferențialelor parțiale ale celor două ecuații (13.1.15) cu variabilele X, Y, R, r, x, y.

Expresiile (13.1.15) sînt funcţii implicite şi pentru acest caz:

$$dx = \frac{\frac{\partial F}{\partial X}dX + \frac{\partial F}{\partial R}dR + \frac{\partial F}{\partial r}dr}{-\frac{\partial F}{\partial X}}; \qquad dy = \frac{\frac{\partial F}{\partial Y}dY + \frac{\partial F}{\partial a}da + \frac{\partial f}{\partial R} + \frac{\partial f}{\partial r}dr}{-\frac{\partial F}{\partial Y}};$$

Efectuînd diferenţialele se obţine:

$$\frac{\partial F}{\partial X} = -dX; \quad \frac{\partial F}{\partial R}dR = \frac{-dR}{\sqrt{1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2}};$$

$$\frac{\partial F}{\partial r}dr = \frac{dr}{\sqrt{1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2}}; \qquad \frac{\partial F}{\partial x} = 1 + \frac{(R-r)\frac{dx}{dy}\cdot\frac{\partial\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)}{\partial x}}{\left[1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2\right]^2}\sqrt{1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2}.$$

Pentru problema studiată interesează mărimea maximă a erorii coordonatei x; de aceea se iau valorile absolute ale diferenţialelor. Neglijînd mărimile mici de ordinul doi şi schimbînd diferenţialele cu erorile corespunzătoare, se obţine eroarea coordonatei x:

$$\Delta x = \frac{\left[\Delta X\sqrt{1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2} + \Delta R + \Delta r\right]\left[1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2\right]^2}{\sqrt{1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2}\left\{\left[1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2\right]^2 + (R-r)\frac{dx}{dy}\frac{\partial\frac{dx}{dy}}{\partial x}\sqrt{1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2}\right\}}.$$

Dacă se notează $1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2 = \varphi$,

atunci expresia lui Δx devine mult mai comodă pentru calcul şi anume:

$$\Delta x = \frac{[(\Delta X\sqrt{\varphi} + \Delta R) + \Delta r]\varphi^2}{\sqrt{\varphi}\left[\varphi^2 + (R-r)\sqrt{(\varphi-1)\varphi} - \frac{\partial\left(\frac{dx}{dy}\right)}{\partial x}\right]}. \qquad (13.1.16)$$

În mod asemănător după ce se calculează diferenţialele şi transformările corespunzătoare obţinem valoarea erorii şi pentru coordonata y, dacă $1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = Z$,

$$\Delta y = \frac{[(\Delta Y + \Delta a)\sqrt{Z} + \Delta R + \Delta Z]Z^2}{\sqrt{Z}\left[Z^2 + (R-r)\sqrt{(Z-1)Z}\,\frac{\partial\left(\frac{dy}{dx}\right)}{dy}\right]}. \qquad (13.1.17)$$

Pentru exemplu, se calculează erorile cu care va fi frezată prin copiere după şablon o piesă rotundă din exemplul precedent, dacă:

$x = 10$ mm

$y = 10$ mm

$\Delta X = \Delta Y = 0{,}05$ mm (erorile coordonatelor X şi Y ale şablonului)

Scanned with OKEN Scanner

$\Delta R = 0{,}02$ mm (eroarea razei rolei)
$\Delta r = 0{,}02$ mm (eroarea razei frezei)
$\Delta a = 0{,}01$ mm (eroarea la distanța dintre axele frezei și a rolei)
$R = 20$ mm (raza rolei)
$r = 10$ mm (raza frezei)

$$x^2 + y^2 = A^2 = 100 + 100 = 200$$

$$x = \sqrt{A^2 - y^2};\quad \frac{dx}{dy} = -\frac{y}{x};\quad \left(\frac{dx}{dy}\right)^2 = \frac{y^2}{x^2};$$

$$\varphi = \left(1 + \frac{y^2}{x^2}\right) = \frac{x^2 + y^2}{x^2} = \frac{200}{100} = 2;\quad \frac{\partial\left(\frac{dx}{dy}\right)}{dx} = \frac{\partial\left(-\frac{y}{x}\right)}{dx} = -\frac{y}{x^2} = -0{,}1.$$

Introducînd aceste valori în expresia lui Δx (13.1.16) se obține:

$$\Delta x = \frac{(0{,}05\sqrt{2} + 0{,}02 + 0{,}02)\,2^2}{\sqrt{2}[\,2^2 + (20-10)\sqrt{(2-1)}\,2(-0{,}1)} = 0{,}12 \text{ mm}.$$

Aceasta va fi eroarea dimensiunii piesei după coordonata x, atunci cînd erorile șablonului, rezei și rolei sînt cele date mai sus.

La fel se determină eroarea dimensiunii piesei după coordonata y. Dacă valorile erorilor și mărimilor de care depinde eroarea dimensiunii x sînt aceleași ca mai sus, atunci pentru ΔY calculată cu relația (13.1.17) rezultă: $\Delta Y = 0{,}14$ mm.

13.1.1.2. **Prelucrarea prin frezare pe mașini de frezat universale, a suprafețelor camelor cu profil după spirala lui Arhimede.** Caracteristica de bază a spiralei lui Arhimede constă în aceea că la o variație a unghiului de rotire cu unghiuri egale raza-vector se mărește cu aceeași mărime. Această caracteristică permite a prelucra profilul respectiv prin frezare în felul următor: piesei care se prelucrează i se imprimă o mișcare de rotație în jurul axei sale cu o viteză unghiulară constantă, simultan cu o mișcare radială constantă în direcția „către freză". Acesta din urmă intrînd tot mereu în material realizează profilul după spirala lui Arhimede.

Practic acest lucru se face cu ajutorul capului divizor *1*; pe dornul *2* în axul principal al divizorului se fixează piesa *3*. Schema de lucru se vede în figura 13.1.10.

Capul divizor este fixat pe masa mașinii de frezat vertical. Șurubul conducător al mesei este legat de mecanismul capului divizor prin intermediul roților dințate fixate pe lira *5*.

Raportul de transmisie de la șurubul conducător la axul capului divizor este în așa fel ales, încît la o rotație completă a piesei, aceasta se deplasează înspre freză cu un pas al spiralei.

Frezrea se face cu o freză 'deget.

Pentru obținerea unui anumit pas al spiralei se poate proceda în două moduri și anume: fie așa cum s-a arătat mai sus

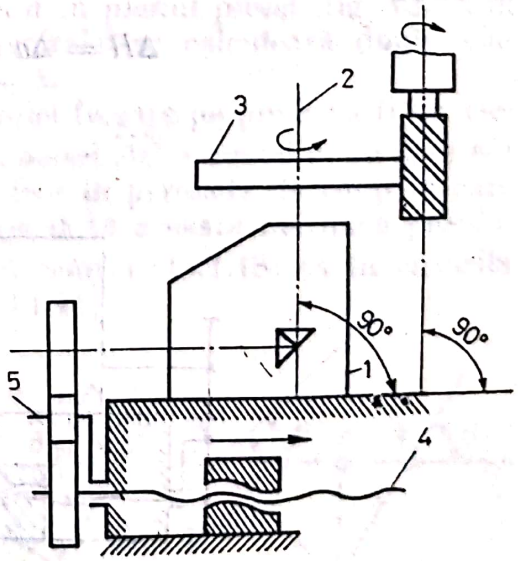


Fig. 13.1.10. Schemă pentru prelucrarea spiralei lui Arhimede pe o mașină de frezat verticală, cu ajutorul capului divizor.

Scanned with OKEN Scanner

cu ajutorul roţilor dinţate fixate pe lira 5, care pentru fiecare valoare a pasului spiralei trebuie să fie schimbate pentru a realiza raportul de transmisie corespuzător, fie prin înclinarea axei capului şi a frezei cu un unghi α (fig. 13.1.11), păstrînd aceleaşi roţi dinţate, respectiv acelaşi raport de transmisie.

Pentru acest lucru, se notează cu: a — *pasul spiralei* pentru realizarea căruia s-au fixat pe liră roţile dinţate respective, prelucrarea făcîndu-se după schema din figura 13.1.10, H — *pasul nou al spiralei*, care se realizează după metoda a doua prin înclinarea capului şi a frezei cu unghiul corespunzător α.

La prelucrarea după prima metodă, pasul spiralei notat cu a este egal cu cursa mesei frezei pe care este fixat capul divizor.

La prelucrarea după metoda a doua, cursa mesei rămîne aceeaşi egală cu a, însă axa capului divizor şi axa frezei fiind înclinate cu unghiul α, pasul rezultat al spiralei H va fi mai mic, după cum se vede din figura 13.1.11 şi anume:

$$H = a \sin \alpha. \tag{13.1.18}$$

În felul acesta, la aceeaşi cursă a mesei şi acelaşi raport de transmisie al roţilor dinţate fixate pe liră, se poate obţine o diversitate foarte mare de valori pentru pasul spiralei, începînd de la a, care este valoarea cea mai mare, şi pînă la zero, adică:

$$a \geqslant H \geqslant 0.$$

Mărimea erorii pasului spiralei ΔH este funcţie de mărimea erorii cursei Δa a mesei şi de mărimea erorii $\Delta\alpha$ a unghiului α cu care se înclină axa capului divizor şi al frezei.

Mărimea erorii pasului spiralei ΔH se calculează cu ajutorul diferenţialei totale a relaţiei (13.1.18):

$$\Delta H = \frac{\partial H}{\partial a}\Delta a + \frac{\partial H}{\partial \alpha}\Delta\alpha,$$

de unde,

$$\Delta H = \Delta a \sin \alpha + a\Delta\alpha \cos \alpha, \tag{13.1.19}$$

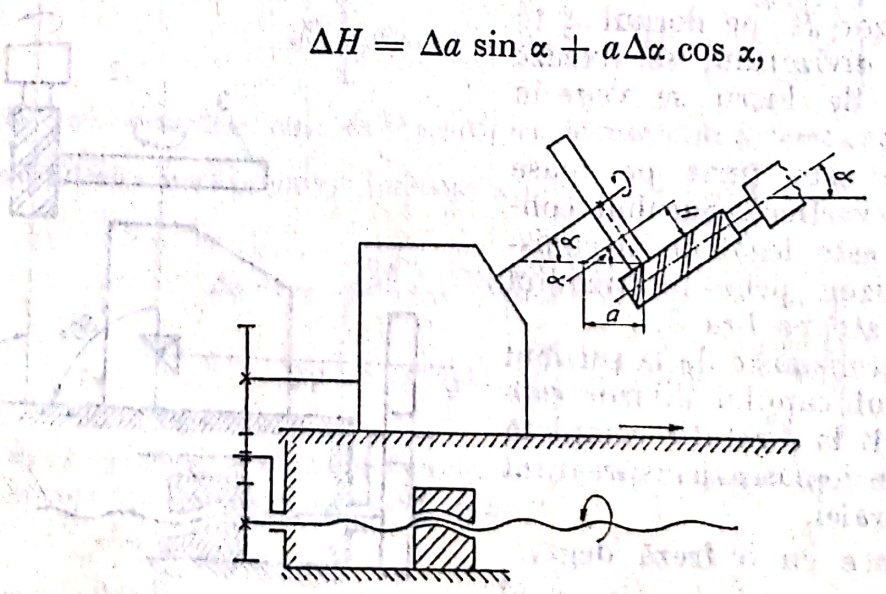


Fig. 13.1.11. Obţinerea pasului spiralei lui Arhimede prin înclinarea axei capului divizor şi al frezei cu unghiul α.

Scanned with OKEN Scanner

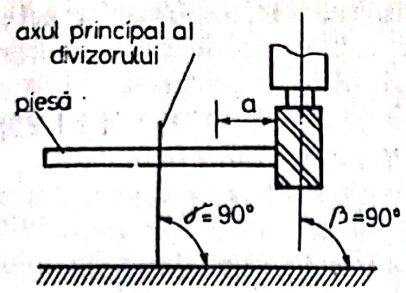


Fig. 13.1.12. Schema de reglaj a capului divizor (cu unghiul $\gamma=90°$) și a frezei (cu unghiul $\beta = 90°$).

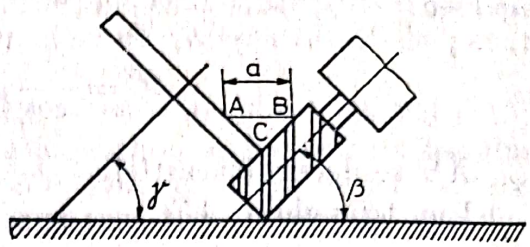


Fig. 13.1.13. Schema de reglaj pentru cazul în care axa capului divizor este înclinată cu unghiul γ, iar a frezei cu unghiul β.

în care $\Delta a \sin\alpha$ este eroarea de pas a spiralei dată de eroarea de deplasare a mesei prin intermediul completului de roți dințate fixate pe liră;

$a\Delta a \cos\alpha$ — eroarea de pas a spiralei dată de eroarea de înclinare la unghiul α a capului divizor și a frezei.

Pentru ușurința exprimării în minute a lui $\Delta\alpha$ relația (13.1.19) se poate scrie sub forma:

$$\Delta H = \Delta a \sin\alpha + \frac{a\Delta\alpha \cos\alpha}{3\,438}. \qquad (13.1.20)$$

Cazul cînd eroarea de fixare a capului divizor și a frezei la unghiul dat este aceeași, este un caz particular, întrucît în realitate capul divizor se înclină cu unghiul $\gamma = \alpha + \Delta'\alpha$, iar freza cu unghiul $\beta = \alpha + \Delta''\alpha$.

Pentru determinarea preciziei de prelucrare este necesară stabilirea dependenței dintre mărimea pasului $H_{\gamma,\beta}$ a spiralei frezate și unghiurile γ și β.

Stabilirea acestei dependențe se face analizînd trei cazuri și anume, cînd:

1. $\gamma = \beta = 90°$
2. $\gamma = \beta \neq 90°$
3. $\gamma \neq \beta \neq 90°$

În primul caz pasul spiralei frezate va fi egal cu mărimea cursei saniei, a, la o rotație completă a piesei (fig. 13.1.12).

În cazul al doilea pe piesa care se prelucrează mărimea pasului spiralei frezate va fi egală cu proiecția cursei saniei a în planul piesei (fig. 13.1.13), adică cu segmentul AC. Mărimea pasului spiralei se calculează după relația (13.1.18) în care $H = AC$, iar $\alpha = \gamma = \beta$.

În cazul al treilea mărimea pasului spiralei frezate pe piesă va fi de asemenea egală cu mărimea proiecției în planul piesei $\overline{AC}$ a cursei a, cu care s-a deplasat masa frezei împreună cu capul divizor în perioada de timp în care piesa s-a rotit în jurul axei sale cu 360°. De data aceasta mărimea pasului spiralei $H = \overline{AC}$ nu se mai calculează după relația (13.1.18) ca în cazurile precedente, ci în modul următor (fig. 13.1.14):

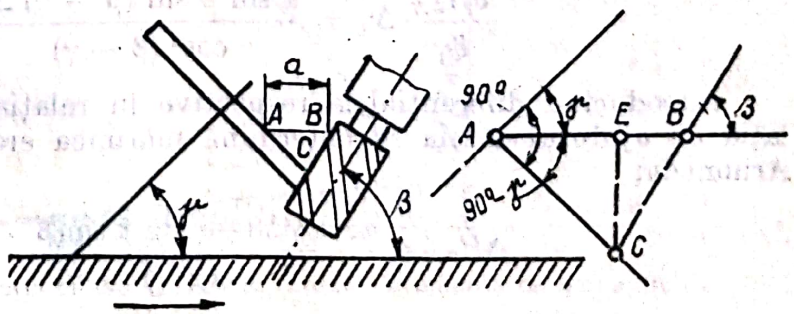


Fig. 13.1.14. Schemă de calcul al pasului spiralei.

Din triunghiul ABC din figura 13.1.14 rezultă că $\overline{AC} = H_{\gamma,\beta}$ și este egal cu:

$$\overline{AC} = \frac{\overline{AE}}{\cos(90° - \gamma)} = \frac{\overline{AE}}{\sin \gamma}. \tag{13.1.21}$$

$\overline{AE}$ se determină astfel:

Din triunghiul AEC:

$$\overline{EC} = \overline{AE} \operatorname{tg}(90° - \gamma) = \overline{AE} \operatorname{ctg} \gamma, \tag{13.1.22}$$

iar din triunghiul EBC:

$$\overline{EC} = \overline{EB} \operatorname{tg} \beta = (a - \overline{AE}) \operatorname{tg} \beta = a \operatorname{tg} \beta - \overline{AE} \operatorname{tg} \beta. \tag{13.1.23}$$

Din relațiile (13.1.22) și (13.1.23) rezultă:

$$\overline{AE} = \frac{a \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{tg} \beta}. \tag{13.1.24}$$

Se introduce în (13.1.21) și se obține:

$$\overline{AC} = \frac{a \operatorname{tg} \beta}{(\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{tg} \beta) \sin \gamma}.$$

sau

$$H_{\gamma,\beta} = \frac{a \operatorname{tg} \beta}{(\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{tg} \beta) \sin \gamma}. \tag{13.1.25}$$

Deci, cu relația (13.1.25) se poate determina mărimea pasului spiralei lui Arhimede pe piesa care se prelucrează, atunci cînd unghiul de înclinație al capului divizor este γ, iar al frezei β.

Dacă în relația (13.1.25) se face $\gamma = \beta$ se obține relația (13.1.18).

Eroarea de pas a spiralei în acest caz se determină făcînd diferențiala totală a relației (13.1.25).

$$\Delta H_{\beta,\gamma} = \frac{\partial H_{\beta,\gamma}}{\partial \beta} \Delta\beta + \frac{\partial H_{\beta,\gamma}}{\partial \gamma} \Delta\gamma. \tag{13.1.26}$$

După ce s-a efectuat diferențiala și s-au făcut o serie de transformări s-a obținut:

$$\frac{\partial H_{\beta,\gamma}}{\partial \beta} \Delta\beta = \frac{a \cos \gamma \Delta\beta}{\cos^2(\beta - \gamma)}; \tag{13.1.27}$$

$$\frac{\partial H_{\beta,\gamma}}{\partial \gamma} \Delta\gamma = \frac{a \sin \beta \sin(\beta - \gamma) \Delta\gamma}{\cos^2(\beta - \gamma)}. \tag{13.1.28}$$

Introducînd diferențialele respective în relația (13.1.26), se obține relația cu ajutorul căreia se determină mărimea erorii de pas a spiralei lui Arhimede:

$$\Delta H_{\beta,\gamma} = \frac{a \cos \gamma \Delta\beta + a \sin \beta \sin(\beta - \gamma) \Delta\gamma}{\cos^2(\beta - \gamma)}. \tag{13.1.29}$$

Scanned with OKEN Scanner

Relația (13.1.27) exprimă eroarea de pas a spiralei dată de eroarea de reglare a frezei la unghiul β, iar relația (13.1.28) exprimă eroarea de reglare a capului divizor la unghiul γ. Suma acestor erori dă eroarea totală de pas a spiralei exprimată de relația (13.1.29).

În cazul cînd reglarea mașinii de frezat se face după relația (13.1.18), adică $\gamma = \beta = \alpha$, însă apar erori de reglare la unghiul α, respectiv a capului divizor și al frezei, egale cu $\Delta'\alpha$ respectiv $\Delta''\alpha$, calculul erorii de pas se face folosind relațiile (13.1.27) și (13.1.28) în care se face $\beta = \gamma = \alpha$ și se introduc erorile $\Delta'\alpha$ și $\Delta''\alpha$

$$\frac{\partial H_{\beta,\gamma}}{\partial \beta}\Delta\beta = \frac{a\cos\Delta''\alpha}{\cos^2(\alpha-\alpha)} = a\cos\alpha\Delta''\alpha = \Delta H_\beta. \qquad (13.1.30)$$

Dacă $\Delta''\alpha$ se exprimă în minute, atunci:

$$\Delta H_\beta = \frac{a\Delta''\alpha\cos\alpha}{3\,438}. \qquad (13.1.31)$$

Aceasta este eroarea căutată de pas a spiralei dată de eroarea $\Delta''\alpha$ de reglare a frezei la unghiul α.

Se face același lucru în relația (13.1.28):

$$\frac{\partial H_{\beta,\gamma}}{\partial \gamma}\Delta\gamma = \frac{a\sin\alpha\sin(\alpha-\alpha)\Delta'\alpha}{\cos^2(\alpha-\alpha)} = 0 = \Delta H_\gamma. \qquad (13.1.32)$$

Rezultatul obținut arată că eroarea de reglare a capului divizor la unghiul respectiv nu are o influență apreciabilă asupra preciziei de prelucrare a spiralei lui Arhimede.

Eroarea de pas a spiralei s-a obținut egală cu zero, pentru că au fost neglijați termenii de ordinul doi. În realitate:

$$\Delta H_\gamma = \frac{a(\Delta'\alpha)^2\sin\alpha}{2\cdot 3\,438^2}. \qquad (13.1.33)$$

În figura 13.1.15 este reprezentat graficul variației erorii de pas a spiralei lui Arhimede ΔH_β și ΔH_γ în funcție de unghiul α de înclinație al frezei și al capului divizor, afectat de erorile de reglare $\Delta''\alpha$ și $\Delta'\alpha$.

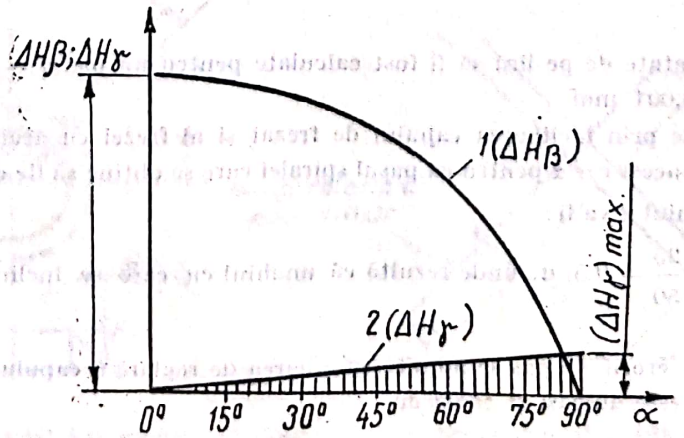


Fig. 13.1.15. Variația erorilor ΔH_β și ΔH_γ în funcție de unghiul de înclinație α.

Dacă în relațiile (13.1.31) și (13.1.33) se face $\alpha = 0$, se obține:

$$\Delta H_\beta = \frac{a\Delta''\alpha \cdot 1}{3\,438} = (\Delta H_\beta)_{max};$$

$$\Delta H_\gamma = \frac{a(\Delta'\alpha)^2 0}{2 \cdot 3\,438^2} = 0 = (\Delta H_\gamma)_{min}.$$

Dacă se face $\alpha = 90°$, se obține:

$$\Delta H_\beta = \frac{a\Delta''\alpha \cdot 0}{3\,438} = 0 = (\Delta H_\beta)_{min};$$

$$\Delta H_\gamma = \frac{a(\Delta'\alpha)^2 \cdot 1}{2 \cdot 3\,438^2} = (\Delta H_\gamma)_{max}.$$

Curba *1* reprezintă variația erorii ΔH_β de pas a spiralei în funcție de variația unghiului α de înclinație a frezei cu o eroarea egală cu $\Delta''\alpha$. Această curbă este o cosinusoidă și arată că cu cît este mai mic unghiul α, cu atît mai mare este eroarea de pas a spiralei dată de eroarea $\Delta''\alpha$ de reglare a frezei la unghiul respectiv.

Curba 2 reprezintă variația erorii ΔH_γ de pas a spiralei în funcție de variația unghiului α de înclinație a frezei cu eroarea egală cu $\Delta''\alpha$. Această curbă este o sinusoidă și arată că eroarea maximă de pas $\Delta H\gamma$ se obține atunci cînd unghiul α de înclinație este egal cu 90°.

Dacă se face raportul erorilor maxime:

$$\frac{(\Delta H_\beta)_{max}}{(\Delta H_\gamma)_{max}} = \frac{a\Delta''\alpha}{3\,438} : \frac{a(\Delta'\alpha)^2}{2 \cdot 3\,438^2},$$

și dacă erorile de reglare sînt egale, adică $\Delta'\alpha = \Delta''\alpha = \Delta\alpha$, atunci raportul erorilor maxime de pas devine:

$$\frac{(\Delta H_\beta)_{max}}{(\Delta H_\gamma)_{max}} = \frac{6\,876}{\Delta\alpha}. \qquad (13.1.34)$$

Exemplu:

Fie ca roțile dințate de pe lira să fi fost calculate pentru un pas $a = 50$ mm cu o eroare de deplasare $\Delta a = 0{,}001$ mm.

Frezarea se face prin înclinarea capului de frezat și al frezei cu același unghi α. Cît de mare trebuie să fie în acest caz α pentru ca pasul spiralei care se obține să fie egal cu $H = 25$ mm?

Rezultă că unghiul α va fi:

$\sin\alpha = \frac{H}{a} = \frac{25}{50} = 0{,}5$, de unde rezultă că unghiul cu care se înclină capul divizor și freza este $\alpha = 30°$.

Pentru calculul erorii de pas se admite că eroarea de reglare a capului divizor și a frezei la unghiul respectiv este aceeași și egală cu

$$\Delta'\alpha = \Delta''\alpha = 5'.$$

Scanned with OKEN Scanner

Cunoscînd aceste date se poate calcula cu ajutorul relaţiilor (13.1.20) şi (13.1.33), eroarea de pas a spiralei:

$$\Delta H = \Delta a \sin\alpha + \frac{a\,\Delta''\alpha\cos\alpha}{3\,438} + \frac{a(\Delta'\alpha)^2\sin\alpha}{2\cdot 3\,438^2} = 0{,}001\cdot 50\cdot 0{,}5 +$$

$$+ \frac{50\cdot 5^2\cdot 0{,}5}{2\cdot 3\,438^2} = 0{,}025 + 0{,}06 + 0{,}00002 = 0{,}085 \text{ mm}.$$

Din acest exemplu se vede că influenţa erorii de reglaj a capului divizor este cu totul neglijabilă (0,00002 mm), faţă de influenţa erorii de reglaj a frezei, care dealtfel este cea mai mare (0,06 mm).

De aici se poate trage concluzia că pentru a micşora influenţa erorii $\Delta''\alpha$ (eroarea de reglaj a frezei) trebuie să se lucreze totdeauna cu unghiuri α cît mai apropiate de 90°, întrucît creşterea lui ΔH_γ se compensează cu micşorarea foarte mare a lui ΔH_β.

La prelucrarea pieselor cu profil după spirala lui Arhimede, în afară de eroarea de pas, mai apare şi eroarea de rază a spiralei (fig. 13.1.16), care se notează cu Δ_ρ şi care este funcţie de eroarea Δ_{ρ_0} care apare la raza iniţială şi de eroarea de pas ΔH a spiralei.

Ecuaţia generală a spiralei lui Arhimede este:

$$\Delta\rho = \rho_0 + \frac{\varphi}{2\pi} H. \qquad (13.1.35)$$

Diferenţiind această relaţie rezultă eroarea de rază:

$$\Delta\rho = \Delta\rho_0 + \frac{\varphi}{2\pi}\Delta H. \qquad (13.1.36)$$

Eroarea $\Delta\rho_0$ este formată din eroarea întîmplătoare care apare la reglarea mesei maşinii de frezat cu Δ_x la dimensiunea ρ_0 a piesei faţă de freză, precum şi erorile de reglare $\Delta'_\alpha\Delta''_\alpha$ la unghiul α a capătului divizor şi a frezei, care provoacă o înclinare a suprafeţei de lucru a piesei.

Dacă se notează cu: Δ_x — eroarea de reglare a mesei maşinii de frezat la dimensiunea dată; α — unghiul de înclinare al capului divizor şi al frezei;

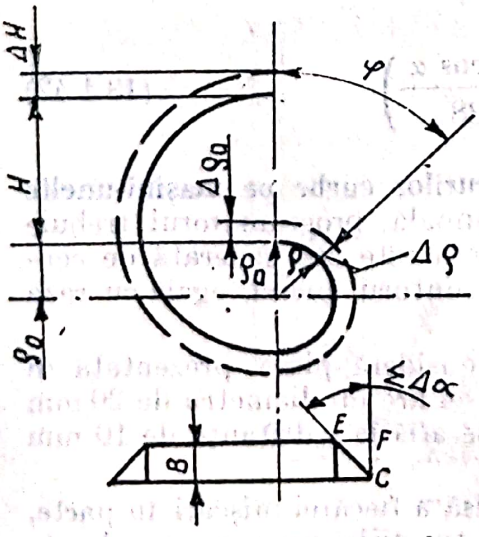


Fig. 13.1.16. Spirala lui Arhimede cu erorile ei constructive.

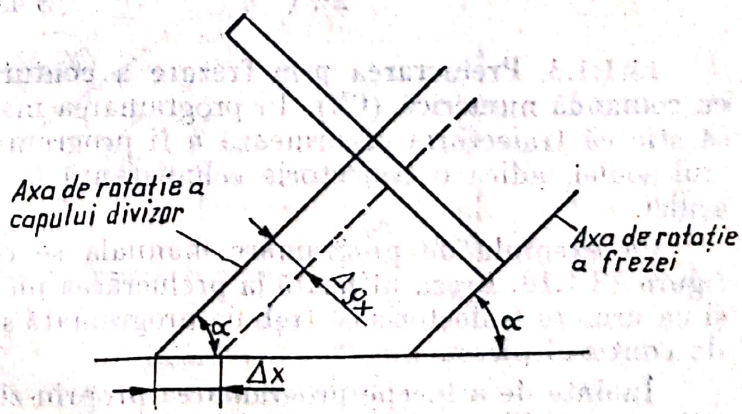


Fig. 13.1.17. Schemă pentru calculul erorii de reglare a mesei maşinii de frezat cu Δx.

Scanned with OKEN Scanner

B — grosimea piesei; $\Delta\rho_\alpha$ — eroarea la raza-vector inițială a spiralei piesei din înclinarea suprafeței, de lucru a piesei, atunci:

$$\Delta\rho_0 = \sqrt{\Delta^2\rho_x + \Delta\rho_\alpha^2}. \tag{13.1.37}$$

Din figura 13.1.17 se vede că:

$$\Delta\rho_x = \Delta x \sin\alpha. \tag{13.1.38}$$

Din triunghiul EFC (fig. 13.1.16) se vede că:

$$EF = \Delta\rho_\alpha = \beta \operatorname{tg}(\Sigma\Delta\alpha), \tag{13.1.39}$$

unde $\Sigma\Delta\alpha$ este suma erorilor: $\Delta'\alpha$ (eroarea de reglare a capului divizor la unghiul α) și $\Delta''\alpha$ (eroarea de reglare a frezei la unghiul α).

Aceste unghiuri se pot aduna și scădea. Ele fiind erori întîmplătoare se pot aduna după regula rădăcinii pătrate, adică:

$$\Sigma\Delta\alpha = \sqrt{\Delta'\alpha^2 + \Delta''\alpha^2}.$$

Eroarea Δ_α din (13.1.39) se poate scrie că este:

$$\Delta\rho_\alpha = \beta \operatorname{tg}\sqrt{\Delta'\alpha^2 + \Delta''\alpha^2}. \tag{13.1.40}$$

Cunoscînd valorile lui $\Delta\rho_x$ și $\Delta\rho_\alpha$, se poate determina eroarea razei-vector inițiale $\Delta\rho_0$ după relația (13.1.37) în care se introduc relațiile (13.1.38) și (13.1.40):

$$\Delta\rho_0 = \sqrt{\Delta x^2 \sin^2\alpha + \beta^2 \operatorname{tg}^2\sqrt{\Delta'\alpha^2 + \Delta''\alpha^2}}. \tag{13.1.41}$$

După ce se cunoaște și relația cu care se determină eroarea $\Delta\rho_0$ se poate determina eroarea de rază a spiralei lui Arhimede, după relația (13.1.36), în care se introduc relațiile (13.1.41) și (13.1.20).

$$\Delta\rho = \Delta\rho_0 + \frac{\varphi}{2\pi}\Delta H = \sqrt{\Delta x^2 \sin^2\alpha + \beta^2 \operatorname{tg}^2\sqrt{\Delta'\alpha^2 + \Delta''\alpha^2}} +$$

$$+ \frac{\varphi}{2\pi}\left(\Delta a \sin\alpha + \frac{a\Delta\alpha \cdot \cos\alpha}{3\,438}\right) \tag{13.1.42}$$

13.1.1.3. **Prelucrarea prin frezare a contururilor curbe pe mașini-unelte cu comandă numerică (CN).** În programarea manuală, programatorul trebuie să știe că traiectoria ce urmează a fi programată este cea generată de centrul sculei, adică o traiectorie echidistantă la conturul piesei, egală cu raza sculei.

Ca exemplu de programare manuală se consideră piesa prezentată în figura 13.1.18. Freza utilizată la prelucrarea piesei are un diametru de 20 mm și ca urmare traiectoria ce trebuie programată se află la o distanță de 10 mm de conturul piesei.

Înainte de a începe programarea propriu-zisă a fiecărei mișcări în parte, adică a stabili mișcările mașinii, avansurile și turațiile, programatorul este obligat să calculeze diferite puncte de sprijin pentru comanda de deplasare,

Scanned with OKEN Scanner

puncte ce apar la traiectoria centrului frezei (v. fig. 13.1.19). Această traiectorie, în cazul de față, se compune din drepte și arce de cerc cu ajutorul cărora se stabilesc coordonatele punctelor de sprijin sau ajutătoare. În sistemul de coordonate ales XSY nu se stabilesc coordonatele absolute ale punctelor conturului ce se încadrează în acest sistem (Q, P, B, C etc.), ci se calculează coordonatele relative ale fiecărui punct față de precedentul, în ordinea apariției lor la parcurgerea traiectoriei, plecînd din punctul S' (START).

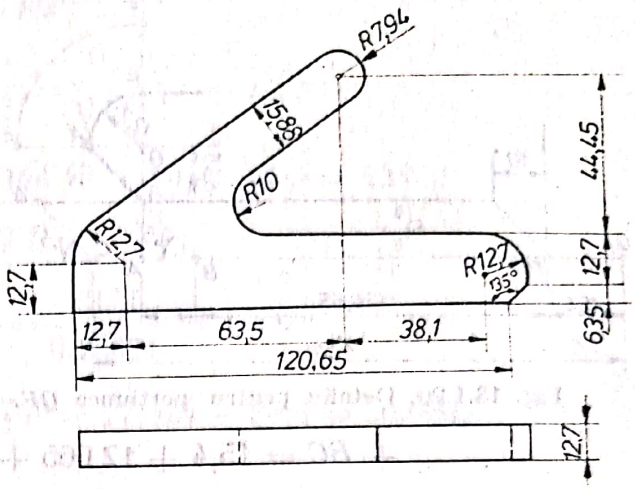


Fig. 13.1.18. Piesă cu profil liniar și curb.

Astfel, de exemplu, coordonatele punctului E', funcție de cele ale lui C se pot scrie:

$$X_{E'} = X_C + X_{E'C};$$
$$Y_{E'} = Y_C + Y_{E'C},$$

unde $X_{E'C}$ și $Y_{E'C}$ sînt coordonatele relative căutate ale punctului E' față de C după cele două axe de coordonate. Ele reprezintă valori ale deplasărilor necesare pentru închiderea unui traseu care se calculează, apelînd cîteodată la scheme suplimentare, după cum se indică în cele ce urmează, unde se prezintă calculul coordonatelor punctelor ajutătoare, în succesiunea în care apar.

1. Traseul SQ (fig. 13.1.19)

Coordonatele punctului Q față de S sînt: $X_{QS} = 0$ și $Y_{QS} = -85$.

2. Traseul QC, impune calcularea lungimii QC, apelînd la schema din figura 13.1.20.

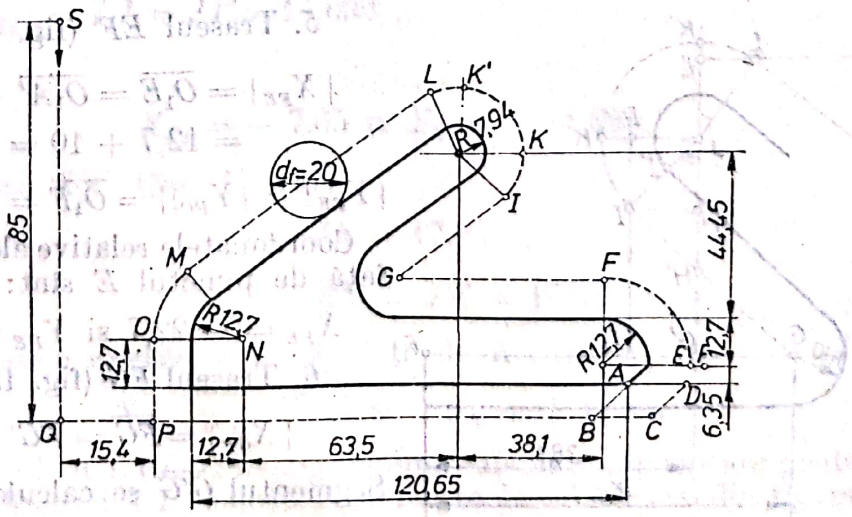


Fig. 13.1.19. Schemă pentru determinarea punctelor de sprijin a comenzilor de deplasare.

Scanned with OKEN Scanner

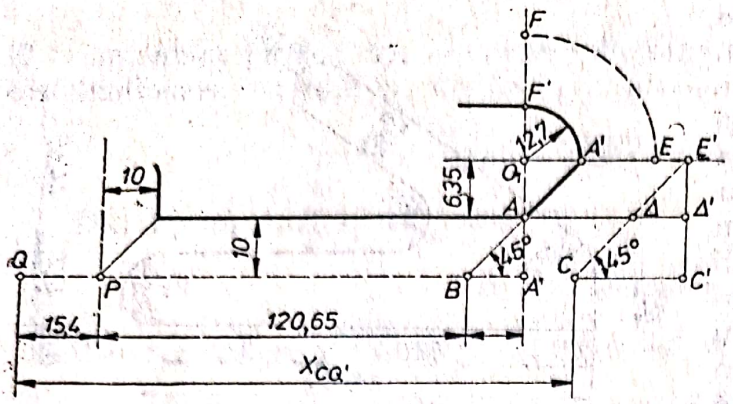


Fig. 13.1.20. Detaliu pentru porțiunea QF.

Segmentul de mărime necunoscută BC se calculează din $\Delta ABA''$:

$$\overline{BC} = \overline{AB} = \overline{AD} = \frac{\overline{AA''}}{\sin 45°} = \frac{10}{\sin 45°} = 14{,}142.$$

Se poate scrie:

$$|X_{CQ}| = \overline{QC} = \overline{QP} + \overline{PB} + \overline{BC} = 15{,}4 + 12\,065 + 14{,}142 = 150{,}192.$$

Prin urmare:

$$X_{CQ} = +\,150{,}192; \quad Y_{CQ} = 0.$$

3. Traseul CE' impune calculul segmentelor $\overline{CC'}$ și $\overline{C'E'}$ (fig. 13.1.20), din triunghiul dreptunghic isoscel $CC'E'$:

$$\overline{CC'} = \overline{C'E'} = \overline{O_1A} + \overline{AA''} = 6{,}35 + 10{,}00 = 16{,}35.$$

Ca urmare:

$$|X_{E'C}| = \overline{CC'} = 16{,}35;$$
$$|Y_{E'C}| = \overline{C'E'} = 16{,}35.$$

Coordonatele relative ale punctului E' față de C sînt:

$$X_{E'C} = +\,16{,}35 \text{ și } Y_{E'C} = +\,16{,}35.$$

4. Traseul $E'E$ (fig. 13.1.20) impune următoarele calcule:

$$|X_{EE'}| = \overline{EE'} = \overline{A'E'} - \overline{A'E} = \overline{BC} - \overline{A'E} = 14{,}142 - 10 = 4{,}142$$

și

$$X_{EE'} = -\,4{,}142; \quad Y_{EE'} = 0.$$

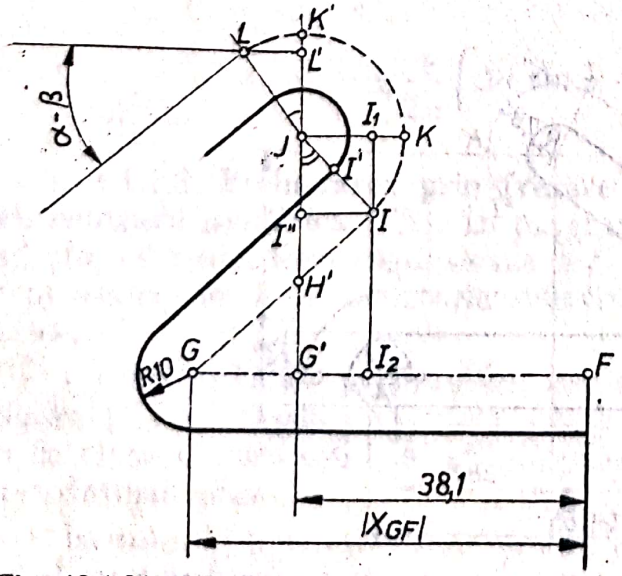


Fig. 13.1.21. Detaliu pentru porțiunea FL.

5. Traseul EF (fig. 13.1.20):

$$|X_{FE}| = \overline{O_1E} = \overline{O_1A'} + \overline{A'E} = 12{,}7 + 10 = 22{,}7$$

$$|Y_{FE}| = |Y_{FO_1}| = \overline{O_1F} = \overline{O_1E} = 22{,}7.$$

Coordonatele relative ale punctului F față de punctul E sînt:

$$X_{FE} = -\,22{,}7 \text{ și } Y_{FE} = +\,22{,}7.$$

6. Traseul FG (fig. 13.1.21)

$$|X_{GF}| = \overline{FG} = \overline{FG'} + \overline{G'G}.$$

Segmentul $\overline{G'G}$ se calculează mai jos.

$$\overline{IJ} = \overline{JI'} + \overline{I'I} = 7{,}94 + 10 = 17{,}94.$$

Scanned with OKEN Scanner

Din triunghiul dreptunghic JIH':

$$\overline{JH'} = \frac{\overline{JI}}{\cos 35°} = \frac{17,94}{0,81915} = 21,9.$$

$$\overline{H'G'} = \overline{JG'} - \overline{JH'} = (44,45 - 10) - 21,9 = 12,55,$$

iar din triunghiul dreptunghic $GG'H$:

$$\overline{GG'} = \frac{H'G'}{\operatorname{tg} 35°} = \frac{12,55}{0,70021} = 17,924,$$

$$|X_{GF}| = GF = GG' + G'F = 17,924 + 38,1 = 56,024,$$

și prin urmare:

$$X_{GF} = -56,024 \text{ și } Y_{GF} = 0.$$

7. Traseul GI (fig. 13.1.21). Stabilirea poziției relative a punctului I față de punctul G necesită stabilirea mărimii segmentelor $\overline{GI_2}$ și $\overline{II_2}$.

$$|X_{IG}| = \overline{GI_2} = \overline{GG'} + \overline{G'I_2} = \overline{GG'} + \overline{JI_1} =$$

$$= \overline{GG'} + \overline{JI} \cdot \cos 55° = \overline{GG'} + \overline{JI} \cdot \sin 35° =$$

$$= 17,924 + 17,94 \cdot 0,57358 = 17,924 + 10,29 = 28,214;$$

$$|\overline{Y_{IG}}| = \overline{G'I''} = \overline{II_2} = \overline{JG'} - \overline{JI} = \overline{JG'} - \overline{JI} \cos 35° =$$

$$= (44,45 - 10) - 17,94 \cdot 0,81915 = 34,45 - 14,695 = 19,755.$$

Deci:

$$X_{IG} = +28,214 \text{ și } Y_{IG} = +19,755.$$

8. Traseul IK (fig. 13.1.21).

$$|X_{KI}| = \overline{JK} - \overline{JI_1} = \overline{JK} - \overline{G'I_2} = 17,94 - 10,29 = 7,65;$$

$$|Y_{KI}| = \overline{I_1I} = \overline{JI''} = 14,695.$$

Deci:

$$X_{KI} = +7,65 \text{ și } Y_{KI} = +14,695.$$

9. Traseul KK' (fig. 13.1.21)

$$|X_{K'K}| = JK = 17,94.$$

$$|Y_{K'K}| = \overline{K'J} = \overline{JK} = 17,94.$$

Coordonatele relative a lui K' față de K sînt:

$$X_{K'K} = -17,94 \text{ și } Y_{K'K} = +17,94.$$

10. Traseul $K'L$ (fig. 13.1.21) impune calcule suplimentare pentru stabilirea pantei dreptei $K'L$, calcule ce se fac în baza schemei din figura 13.1.22 și figura 13.1.23.

Scanned with OKEN Scanner

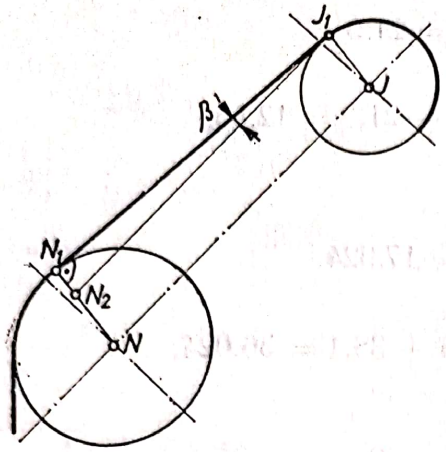


Fig. 13.1.22. Detaliu pentru determinarea înclinației porțiunii H_1J_1.

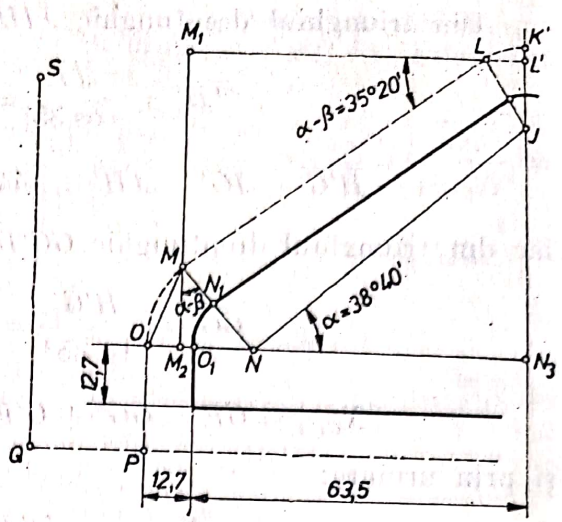


Fig. 13.1.23. Detaliu pentru porțiunea NJ

Din triunghiul dreptunghic NN_3J (fig. 13.1.23):

$$\overline{NJ} = \sqrt{\overline{NN_3}^2 + \overline{JN_3}^2} = \sqrt{63{,}5^2 + 50{,}8^2} = 81{,}319;$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\overline{JN_3}}{\overline{NN_3}} = \frac{50{,}8}{63{,}5} = 0{,}8 \Rightarrow \alpha = 38°40'.$$

Din figura 13.1.22:

$$\overline{N_1N_2} = \overline{NN_1} - \overline{J_1J} = 12{,}7 - 7{,}94 = 4{,}76;$$

$$\overline{N_1J_1} = \sqrt{\overline{NJ}^2 - \overline{N_1N_2}^2} = \sqrt{81{,}319^2 - 4{,}76^2} = 81{,}18;$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{N_1N_2}{N_1J_1} = \frac{4{,}76}{81{,}18} = 0{,}05863 \Rightarrow \beta = 3°20'.$$

În triunghiul dreptunghic JLL' (fig. 13.1.22):

$$\sphericalangle LJL' = \alpha - \beta = 38°40' - 3°20' = 35°20';$$

$$X_{LK'} = \overline{LL'} = \overline{I''I} = \overline{JI_1} = 10{,}29;$$

$$Y_{LK'} = \overline{K'L'} = \overline{K'J} - \overline{L'J} = \overline{K'J} - \overline{LJ} \cdot \cos(\alpha - \beta) =$$

$$= 17{,}94 - 17{,}94 \cdot \cos 35°20' = 3{,}244.$$

Ca urmare: $X_{LK'} = -10{,}29$ și $Y_{LK'} = -3{,}244$.

11. Traseul LM (fig. 13.1.23):

$$|X_{ML}| = \overline{M_1L} = \overline{LM} \cdot \cos 35°20' = \overline{N_1J_1} \cdot \cos 35°20' =$$

$$= 81{,}18 \cdot 0{,}81580 = 66{,}23;$$

$$|Y_{ML}| = M_1M = LM \cdot \sin 35°20' = N_1J_1 \cdot \cos 35°20' =$$

$$= 81{,}18 \cdot 0{,}57833 = 46{,}9.$$

Scanned with OKEN Scanner

Deci, coordonatele relative ale punctului M față de punctul L sînt: $X_{ML} = -66{,}23$ și $Y_{ML} = -46{,}9$.

12. Traseul MO (fig. 13.1.23)

Deoarece în triunghiul isoscel MNO, $\sphericalangle MON = 62°40'$

$$|X_{OM}| = OM_2 = OM \cdot \cos \widehat{MON} = 2 \cdot MN \cos \widehat{MON} \cdot \cos \widehat{MON} =$$
$$= 2 \cdot 22{,}7 \cdot \cos^2 62{,}°40' = 9{,}68.$$

$$Y_{OM} = MM_2 = MN \cdot \cos \widehat{M_2MN} = 22{,}7 \cdot \cos 35°20' = 18{,}596,$$

de unde $X_{OM} = -9{,}68$ și $Y_{OM} = -18{,}596$.

13. Traseul OP (fig 13.1.23):

$$X_{PO} = 0 \text{ și } Y_{PO} = -22{,}7.$$

14. Traseul PQ (fig. 13.1.23):

$$X_{QP} = -15{,}4 \text{ și } Y_{QP} = 0.$$

15. Traseul QS (fig. 13.1.23):

$$X_{SQ} = 0 \text{ și } Y_{SQ} = +85{,}0.$$

Scula a ajuns în punctul de START S.

Suma valorilor tuturor coordonatelor relative pe axa X și pe axa Y trebuie să fie egală cu zero (vezi tab. 13.1.2).

Tabelul 13.1.2

Tabelul valorilor relative ale coordonatelor

Traseul	Valorile relative	
	X	Y
S — Q	—	−85,0
Q — C	+150,192	—
C — E′	+ 16,35	+16,35
E′ — E	— 4,142	—
E — F	— 22,7	+22,7
F — G	— 56,024	—
G — I	+ 28,214	+19,754
I — K	+ 7,65	+14,695
K — K′	— 17,94	+17,94
K′ — L	— 10,29	— 3,244
L — M	— 66,23	−46,9
M — O	— 9,68	−18,596
O — P	—	−22,7
P — Q	— 15,4	—
Q — S	—	+85,0
Suma:	0,00	0,00

Scanned with OKEN Scanner

PROGRAMUL

%

N001 G91 G00 X0 Y-85000 Z21000 S79 T01 M03

N002 M06

N003 M08 G73 X150192 F300

N004 G01 X16350 Y16350

N005 X-Y142

N006 G03 X-22700 Y22700 I22700 J0 F536

N007 G73 X-56024 F300

N008 G01 X28214 Y19754

N009 G03 X7650 Y14695 I10290 J14696 F678

N010 X-17940 Y17940 I17940 JO

N011 X-10290 Y-3244 I0 J17940

N012 G01 X-66230 Y-46900 F300

N013 G03 X-9680 Y-18596 I13020 J18596 F536

N014 G73 Y-22700 F300

N015 G00 X-15400 Y85000 Z-210000 M30

Explicații referitoare la program:

1. Fraza N006: pentru a obține interpolarea circulară cu o viteză de așchiere constantă, trebuie recalculată valoarea programată pentru avans (F) cu relația:

F = viteza de avans $v \cdot \frac{R + r}{R}$;

R = raza piesei;
r = raza frezei,

adică: $F = 300\ \frac{12{,}7 + 10}{12{,}7} = 536.$

2. FrazaN009: identic cu fraza N006 dar cu alte valori.

13.1.3.1. **Programarea automată a prelucrărilor liniare și a contururilor curbe.** Pentru a scoate în evidență avantajele mari pe care le prezintă programarea cu ajutorul calculatorului electronic, față de cea manuală, se prezintă metoda respectivă, luînd aceeași piesă pe baza căreia s-a prezentat metoda de programare manuală (fig. 13.1.18). Limbajul utilizat de programare automată este COMPACT II, care se compune din următoarele patru tipuri de instrucțiuni:

1 — Instrucțiuni referitoare la mașină;
2 — Definiții geometrice;
3 — Descrierea sculelor;
4 — Descrierea modului de parcurgere a conturului piesei, de către sculă.

Scanned with OKEN Scanner

Limbajul COMPACT II este un limbaj fără un format fix, adică un limbaj care permite ca cele patru instrucțiuni să fie folosite în orice succesiune, iar ordinea informațiilor în interiorul instrucțiunii este și ea la libera alegere a tehnologului.

Prma instrucțiune a acestui limbaj, așa cum s-a arătat mai sus, se referă la indicarea mașinii-unelte pe care se face prelucrarea. Ex.: MAȘINA DE FREZAT.

A doua instrucțiune se referă la identificarea piesei, respectiv denumirea și codul piesei. Ex.:

IDENT, UNGHI

Instrucțiunea utilizată pentru schimbarea sculei (dacă este cazul) este punctul în care trebuie schimbată scula așchietoare, în raport cu punctul de zero al mașinii. Din exemplul de programare manuală se vede că, acest punct se află pe axa X la 0 (zero), iar pe axa Y la 85 mm (v. fig.13.1.19). Pe axa Z punctul respectiv se alege la 250 mm, pentru a se asigura distanța de siguranță (în cazul în care mașina este prevăzută cu cap revolver, pentru ca scula cea mai lungă să nu lovească piesa).

În program această instrucțiune se exprimă prin:

SETUP, OLX, 85LY, 250LZ

Doarece prelucrarea piesei începe din colțul de jos din stînga, acest punct se alege drept punct de zero al piesei, respectiv de bază de plecare, cu instrucțiunea

BASE, 25 · 4XA, 25 · 4YA, OZA

În această instrucțiune, indicațiile XA, YA și ZA reprezintă coordonatele punctului de zero al mașinii pe cele trei axe de coordonate, iar cifrele reprezintă distanța de la bază la punctul de zero absolut pe axele respective.

Descrierea geometriei piesei, care trebuie obținută, începe de la punctul ales anterior ca bază.

Muchia de jos a piesei este linia *1* sau dreapta *1* din figura 13.1.24 de pe axa X și este definită în limbajul COMPACT II, astfel:

DLN1, YB

Primul cuvînt indică: „Define LiNe 1“, adică „definește dreapta *1*“. Cu YB se indică faptul, că dreapta respectivă are în direcția axei Y distanța 0 (zero) de la bază.

Deoarece nu s-a indicat nici o valoare pentru coordonata X, se înțelege că, această dreaptă este paralelă cu axa X și pentru că $Y = 0$, ea este chiar pe axa X.

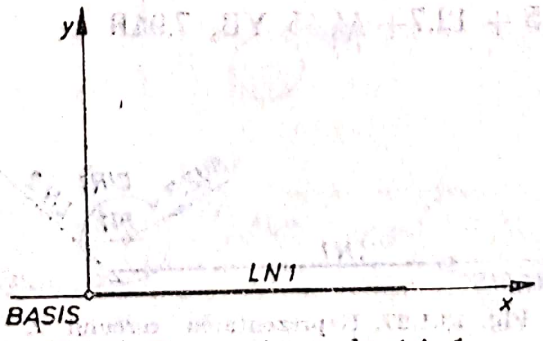


Fig. 13.1.24. Reprezentarea dreptei *1*.

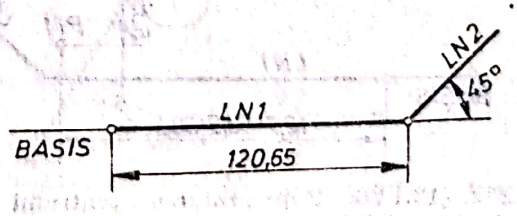


Fig. 13.1.25. Reprezentarea dreptei *2*.

Scanned with OKEN Scanner

În continuare se definește cea de a doua muchie a piesei, respectiv dreapta *2*. Această dreaptă (v. fig. 13.1.25) trebuie să treacă printr-un punct situat pe axa *X* situat la distanța 120,65 mm de baza *Y* și trebuie să fie înclinată sub unghiul de 135°, respectiv de 45°. Reprezentarea ei este dată în figura 13.1.25.

Definirea dreptei *2* se face prin instrucțiunea:

DLN2, 12065XB, YB, 45CCW

(Funcția CCW indică că măsurarea, respectiv parcurgerea unghiului de 45° se face în sens invers rotirii acelor de ceas.)

În continuare se definește cercul al cărui centru are coordonatele: $X = (12,7 + 63,5 + 38,1)$ mm de la bază (v. fig. 13.1.26) și $Y = 6,35$ mm, iar $Z = 0$.

Instrucțiunea de comandă pentru definirea centrului cercului cu raza de 12,7 mm și coordonatele de mai sus, este următoarea:

DPT1, 12.7 + 63.5 + 38. 1XB, 6,35YB, ZB

Primul cuvînt înseamnă „Define Point 1", adică definește punctul *1*".

Pentru definirea cercului, primul cuvînt din instrucțiunea de comandă este totdeauna DCIR urmat de numărul de ordine al cercului respectiv. Cuvîntul DCIR înseamnă: „Define CIRcle", adică „definește cercul".

Instrucțiunea corespunzătoare în limbajul utilizat, COMPACT II este (v. fig. 13.1.27):

DCIR1, PT1, 12 · 7R

În continuare trebuie definită dreapta *3*, paralelă cu axa *X*, situată la distanța de 12,7 + 6,35 mm deasupra acesteia (fig. 13.1.28).

Instrucțiunea pentru definirea acestei drepte este:

DLN3, 19.5 YB

La capătul dreptei *3* (v. fig. 13.1.29) este cercul cu raza $r = 10$ mm tangent la dreapta respectivă. Centrul cercului este situat pe bisectoarea unghiului dintre această dreaptă *3* și muchia înclinată a piesei. Întrucît prelucrarea conturului piesei se face cu o freză deget cu diametrul egal cu 20 mm, raza de 10 mm a cercului respectiv, se obține automat și ca atare nu mai este nevoie de o instrucțiune specială pentru definirea lui.

În continuare trebuie definite celelalte două cercuri (respectiv racordări) cu razele de 7,94 mm și 12,7 mm.

Primul din aceste două cercuri (fig. 13.1.29), adică cercul *2* este definit prin coordonatele centrului și prin raza sa, cu următoarea instrucțiune:

DCIR2, 12.7 + 63,5 XB, 63.5 + 12.7+ 44.45 YB, 7.94R

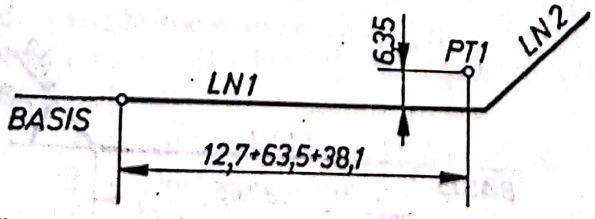


Fig. 13.1.26. Reprezentarea centrului *PT1* al cercului *1*.

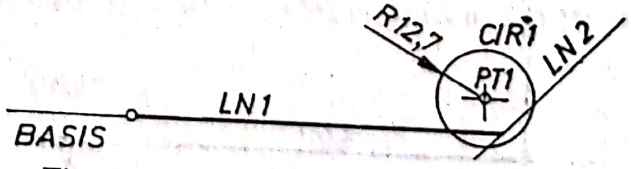


Fig. 13.1.27. Reprezentarea cercului *1*.

Scanned with OKEN Scanner

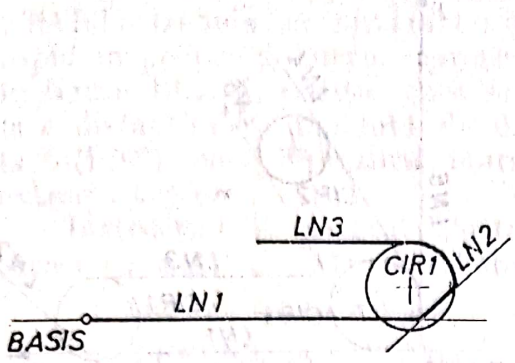


Fig. 13.1.28. Reprezentarea dreptei *3*.

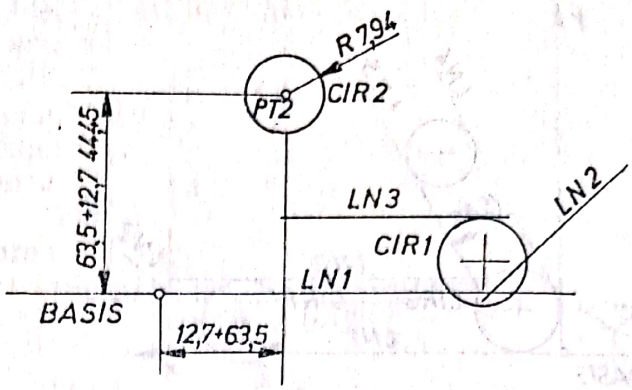


Fig. 13.1.29. Reprezentarea cercului *2*.

În același mod este definit și cercul *3* (fig. 13.1.30) cu următoarea instrucțiune:

DCIR3, 12.7XB, 12.7YB, 12.7R

Dreapta *4* a conturului piesei, prin limbajul COMPACT II se definește foarte ușor, fără a face uz de dimensiunile din figura 13.1.31, ci ținînd doar seama de faptul, că ea este tangentă atît la cercul *2* cît și la cercul *3* (fig. 13.1.31), lucru care se exprimă în modul următor:

DLN4, CIR2, CIR3

Întrucît la cercul *2* există două drepte tangente, dreapta *4* și dreapta reprezentată în figura 13.1.31 cu linie întreruptă, în instrucțiunea de comandă pentru definirea dreptei *4*, trebuie să se indice faptul, că este vorba de dreapta a cărei valoare a coordonatei *Y* este mai mare, adică *YL* (de la „Y LARGE" care înseamnă „*Y* mare").

Deci, instrucțiunea de definire a acestei drepte *4* este:

DLN4, CIR2, YL, CIR3

Dreapta *5* tangentă la cercul *2* și paralelă cu dreapta *4* se află la distanța 15,88 mm de aceasta din urmă.

În limbajul utilizat în acest exemplu de programare automată cu calculatorul electronic (adică limbajul COMPACT II), dreapta *5* se poate defini

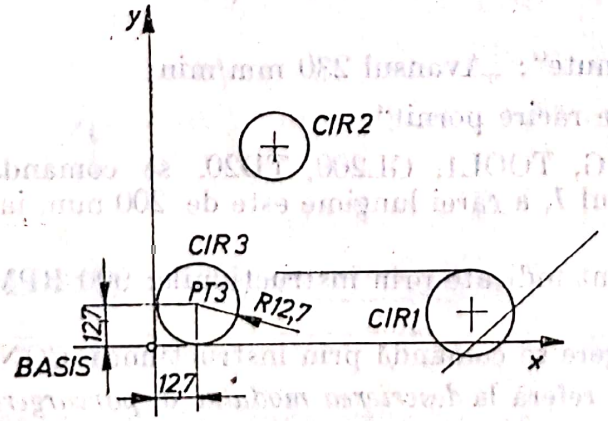


Fig. 13.1.30. Reprezentarea cercului *3*.

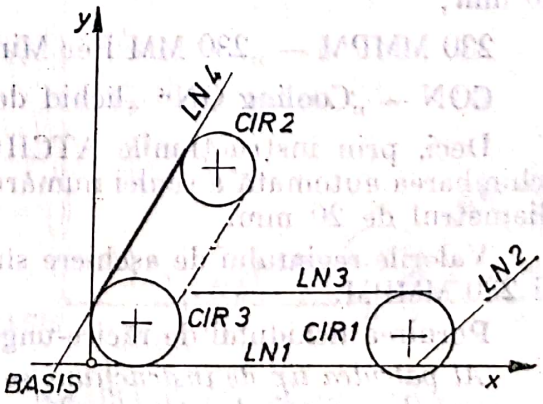


Fig. 13.1.31. Reprezentarea dreptei *4*.

Scanned with OKEN Scanner

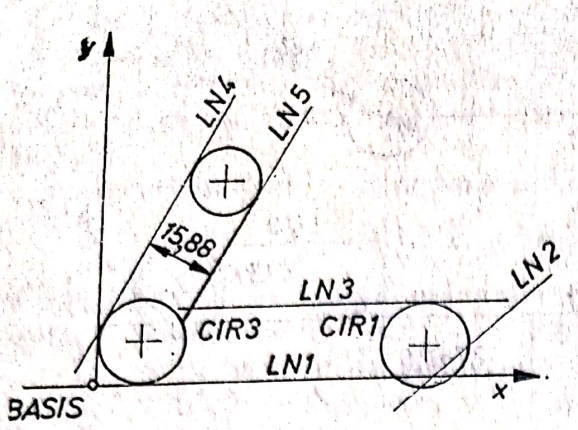


Fig. 13.1.33. Reprezentarea dreptei *5*.

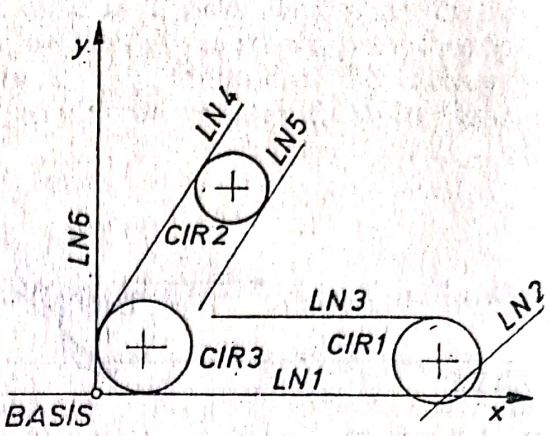


Fig. 13.1.32. Reprezentarea dreptei *6*.

prin dreapta *4* deplasată din poziția ei, cu 15,88 mm. Direcția deplasării este aceea pentru care coordonata *X* devine mai mare, adică *XL* („X Large“).

Instrucțiunea de definire a dreptei *5* (fig. 13.1.33) este:

DLN5, LN4/15·88XL

Pentru a fi complet definit conturul piesei a mai rămas de definit poziția dreptei *6* (fig. 13.1.32).

Această dreaptă *6* se definește în mod asemănător dreptei *1*, însă de data aceasta se folosește axa *X*. Instrucțiunea de definire este:

DLN6, XB

Se reamintește că, prin *XB* se definește faptul, că dreapta *6* are în direcția axei *X* distanța 0 (zero) de la bază.

Al treilea tip de instrucțiune se referă la *descrierea și apelarea sculelor*.

Instrucțiunile respective sînt de forma:

ATCHG, TOOL1, GL200, TD20, 900RPM, 230MMPM, CON

în care:

ATCHG reprezintă „Automatic T00l ChanGe“ echivalent cu „Schimbare automată a sculei“;

T00L1 — scula 1;

GL200 — „Gage Length“ 200 mm: „lungimea sculei“ 200 mm;

TD20 — „T00l Diameter“ 20: „diametrul sculei“, respectiv al frezei 20 mm;

230 MMPM — „230 MM Per Minute“: „Avansul 230 mm/min;

CON — „Cooling ON“ „lichid de răcire pornit“.

Deci, prin instrucțiunile ATCHG, TOOL1, GL200, TD20, se comandă schimbarea automată a sculei numărul *1*, a cărei lungime este de 200 mm, iar diametrul de 20 mm.

Valorile regimului de așchiere sînt indicate prin instrucțiunile: 900 RPM și 230 MMPM.

Pornirea lichidului de răcire-ungere se comandă prin instrucțiunea CON.

Al patrulea tip de instrucțiuni se referă la *descrierea modului de parcurgere a conturului piesei*, de către sculă.

Scanned with OKEN Scanner

Scula din poziția inițială (de START) trebuie să ajungă cu avans rapid în poziția de lucru, reprezentată în figura 13.1.34, poziție care se află la o distanță de 5 mm față de dreapta *6* (LN6), care reprezintă marginea extremă a piesei.

Instrucțiunile pentru efectuarea acestei mișcări de către sculă sînt:

MOVE, OFFLNI/YS,
0FFLN6/5XS, 10ZB

Prin instrucțiunea MOVE se comandă deplasarea sculei cu avans rapid din poziția de START.

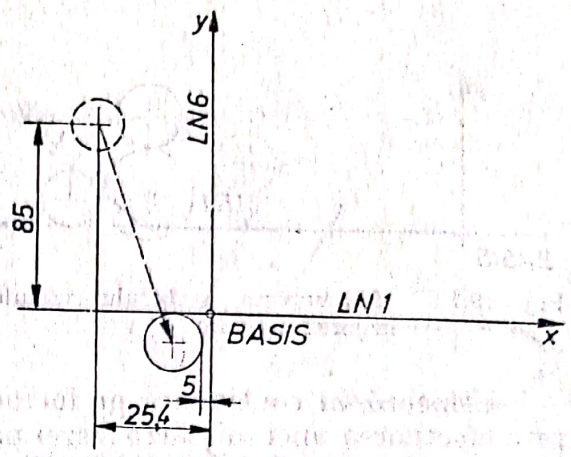


Fig. 13.1.34. Poziția inițială și finală a sculei.

Instrucțiunile următoare indică locul unde trebuie să se deplaseze scula.

Cu instrucțiune OFFLN1 se comandă sfîrșitul mișcării pe dreapta *1* (LN1), iar prin „/YS" se indică pe ce parte a dreptei *1* să se oprească scula (respectiv freza). Instrucțiunea respectivă „/YS", indică „Y Small", adică partea pe care coordonata *Y* are valoarea mai mică".

Prin instrucțiunea OFFLN6/5XS este definită poziția frezei față de dreapta *6* (LN6) și anume: în afara dreptei *6* pe partea pe care coordonata *X* are valoarea mai mică „X Small" (XS), la distanța de 5 mm, lucru indicat prin instrucțiunea 5XS.

Prin instrucțiunea 10ZB se indică poziția frezei pe axa de coordonate *Z*, pe care o ocupă cu avans rapid și care se află la distanța de 10 mm deasupra mesei mașinii.

Procesul de așchiere începe prin parcurgerea cu avans de lucru a dreptei *1*(LN1), pînă în momentul în care freza depășește dreapta *2*(LN2) (v. fig. 13.1.35)

Instrucțiunea pentru această fază a operației este următoarea:

CUT, PARLN1, PASTLN2

Prin CUT este indicată deplasarea frezei cu avans de lucru.

Deplasarea este paralelă cu dreapta *1* (PARLN1) pînă în momentul în care freza depășește dreapta *2* (PASTLN2).

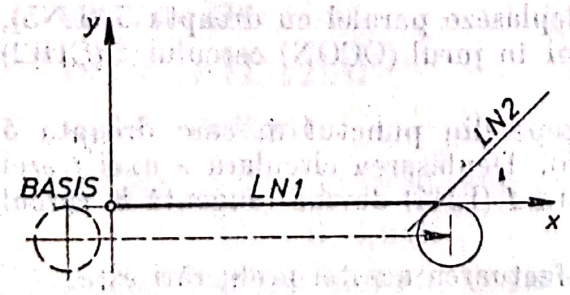


Fig. 13.1.35. Parcurgerea cu avans de lucru a dreptei *1*.

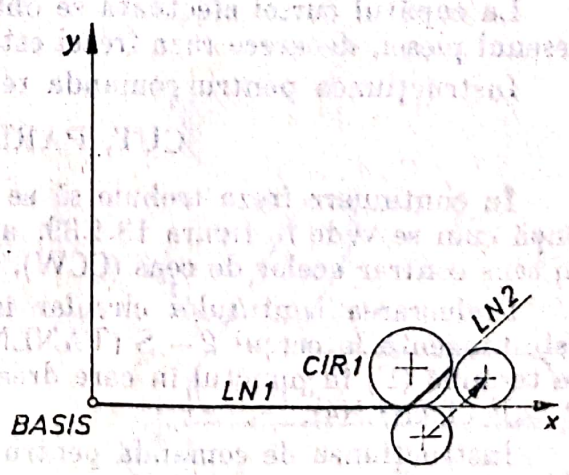


Fig. 13.1.36. Parcurgerea dreptei *2*.

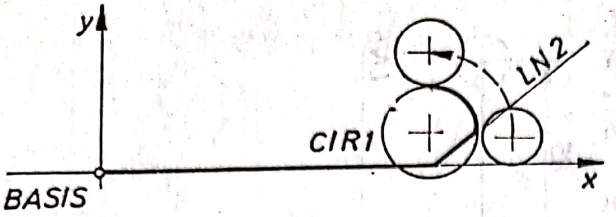


Fig. 13.1.37. Parcurgerea sectorului circular în jurul cercului *1*.

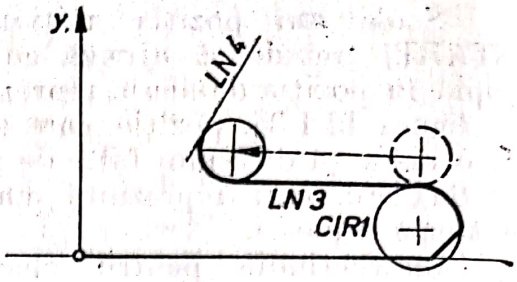


Fig. 13.1.38. Parcurgerea dreptei *3*.

Urmează în continuare prelucrarea dreptei *2*. Acest lucru se realizează prin efectuarea unei mișcări a frezei paralelă cu dreapta respectivă (PARLN2), prin exteriorul cercului *1* (OUTCIR 1) (v. fig. 13.1.36).

După cum se observă din figura 13.1.36, cercul *1* intersectează dreapta *2* (LN2) în două puncte. Punctul de intersecție dorit, pentru a se realiza conturul corect al piesei, se selectează prin instrucțiunea suplimentară *YL* („Y Large" = „Y mare"), care dă comanda ca freza să se deplaseze pînă în punctul de intersecție în care coordonata *Y* are valoarea cea mai mare.

În concluzie instrucțiunea respectivă pentru prelucrarea dreptei *2* este:

CUT, PARLN2, OUTCIR1, YL

În continuare urmează să fie prelucrat conturul piesei generat de freză în jurul cercului *1* (CIR1), așa cum se vede în figura 13.1.37.

Pentru acest lucru se comandă ca, centrul frezei să se deplaseze în jurul cercului *1* (OCON, CIR1 = „Out Conturing CIR1"), în sens contrar mișcării acelor de ceas (CCW = „Counter Clock Wise"). Mișcarea de deplasare trebuie să înceapă din locul (LOCation) în care s-a oprit [S(LOC)] deplasarea centrului frezei în faza precedentă.

Punctul de oprire *F* (Finish) trebuie să fie acolo unde cercul *1* devine tangent la dreapta *3* *F* [(TANLN3)].

Deci, instrucțiunea completă de comandă este:

OCON, CIR1, CCW, S(LOC), F(TANLN3)

Prelucrarea dreptei *3* (LN3) se face prin deplasarea centrului frezei în direcție paralelă cu dreapta respectivă, pînă (TO) la dreapta *5* (v. fig. 13.1.38).

La capătul cursei efectuată se obține forma piesei cu raza prevăzută pe desenul piesei, deoarece raza frezei este egală cu raza respectivă a piesei.

Instrucțiunea pentru comanda realizării acestei prelucrări este:

CUT, PARLN3, TOLN5

În continuare freza trebuie să se deplaseze paralel cu dreapta *5* (LN5), după cum se vede în figura 13.1.39, apoi în jurul (OCON) cercului *2* (CIR2) în sens contrar acelor de ceas (CCW).

Prelucrarea conturului circular începe din punctul în care dreapta *5* este tangentă la cercul *2*— S (TANLN5). Deplasarea circulară a axei frezei se termină (F) în punctul în care dreapta *4* (LN4) devine tangentă la cercul *2* — F (TANLN4).

Instrucțiunea de comandă pentru efectuarea acestei prelucrări este:

OCON, CIR2, CCW, S(TANLN5), F(TANLN4)

Scanned with OKEN Scanner

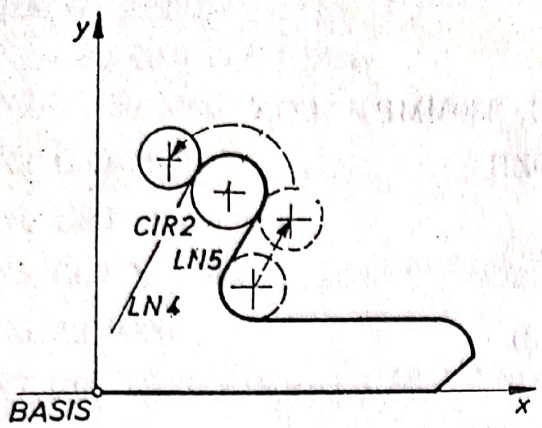


Fig. 13.1.39. Parcurgerea dreptei *5* și a sectorului circular pe *CIR 2*.

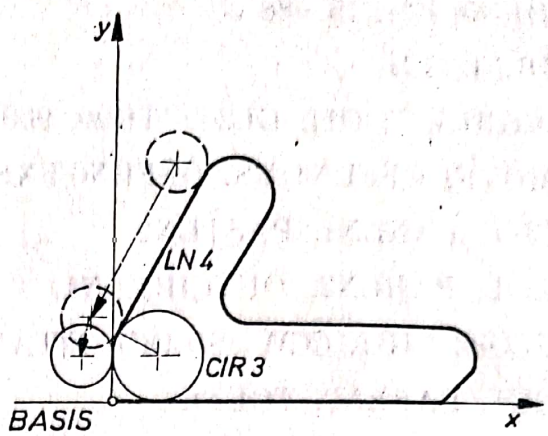


Fig. 13.1.40. Parcurgerea dreptei *4* și a sectorului circular pe *CIR 3*.

Sectorul circular de pe cercul *3* (CIR3), reprezentat în figura 13.1.40 se va prelucra prin instrucțiunea:

OCON, CIR3, CCW, S(TANLN4), F(TANLN6)

Pentru închierea prelucrării conturului piesei, axa frezei trebuie să se deplaseze paralel cu dreapta *6* (LN6), pînă în momentul în care freza devine tangentă la dreapta *1*, după depășirea punctului notat cu BASIS (v.fig.13.1.41).

Instrucțiunea pentru comanda realizării acestei ultime prelucrări, a dreptei *6* (LN6) este:

CUT, PASTLNI

Programul se termină cu instrucțiunea END.

Întreg programul de comandă al mașinii pentru prelucrarea conturului piesei din figura 13.1.18, în limbajul COMPACT II este următorul:

```
MASINA, FREZA
IDENT
WINKEL ALS PROGRAMM-BEISPIEL
SETUP, OLX, 85LY, 25OLZ
BASE, 25.4XA, 25.4YA, OZA
DLNI, YB
DLN2, 120.65XB, YB, 45CCW
DPT1, 12.7 + 63.5 + 38.1XB,
6.35YB, ZB
DCIR1, PT1, 12.7R
DLN3, 19.05YB
DCIR2, 12.7 + 63.5XB, 6.35 +
+ 12.7 + 44.5YB, 7.94R
DCIR3, 12.7XB, 12.7YB, 12.7R
DLN4, CIR2, YL, CIR3
```

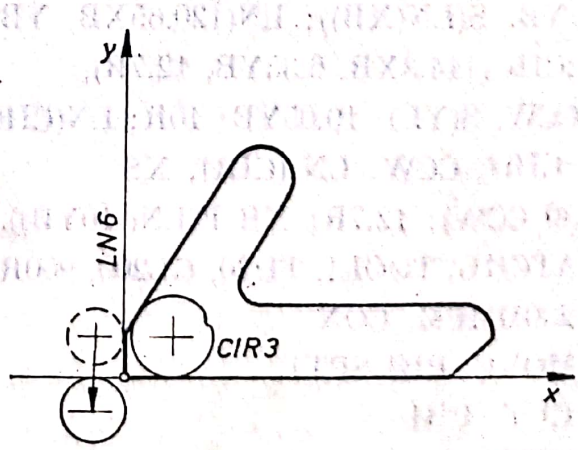


Fig. 13.1.41. Parcurgerea dreptei *6*.

DLN5, LN4/15 · 88XL

DLN6, XB

ATCHG, TOO11, GL200, TD20, 900RPM, 230MMPM, CON

MOVE, OFFLN1/YS, OFFLN6/5XS, 10ZB

CUT, PARLN1, PASTLN2

CUT, PARLN2, OUTCIR1, YL

OCON, CIR1, CCW, S(LOC), F(TANLN3)

CUT, PARLN3, TOLN5

OCON, CIR2, CCW, S(TANLN5), F(TANLN4)

OCON, CIR3, CCW, S(TANLN4), F(TANLN6)

CUT, PASTLN1

END

Programul prezentat mai sus, pentru a se înțelege mai ușor a fost întocmit cu multe detalii. El poate fi însă mult prescurtat de către inginerul tehnolog programator, după o oarecare practică în tehnica programării mașinilor cu CN.

Într-o formă prescurtată programul respectiv, scris în același limbaj COMPACT II este prezentat mai jos:

MASINA, FREZA

IDENT

WINKEL ALS PROGRAMM-BEISPIEL

SETUP, LX, 85LY, 25LZ

BASE, 25.4XA, 25.4YA, ZA

DCIR1, 76.2XB, 63.5YB, 7.94R

DPB1, RPT, XB, YB, 10ZB, CR;

SPT1, — 15XB, -10YB, 10ZB

;YB, S(LN(XB)); LN(120.65XB, YB, 45CCW)

;CIR (114.3XB, 6.35YB, 12.7R),

CCW, S(YL); 19.05YB; 10R; LN(CIR1, XL, 30CCW)

;CIR1, CCW; LN (CIR1, XS,

30 CCW); 12.7R; XB F(LN(-10YB)), NOMORE

ATCHG, TOOL1, TD20, GL200, 900RPM,

230MMPM, CON

MOVE, PB1/SPT1

CUT, PB1

END.

Scanned with OKEN Scanner

PROGRAMM

N1 G80 G40 G00 T0150

N2 T0150 M06

N3 G80 M08

N4 G90

N5 G00 X 10400 Y15400 S79 M03

N6 Z210000

N7 G01 GG2 X150192 F230

N8 X 161926 Y 27134

N9 G03 G91 X 474 Y 4616 I22226 J 4616

N10 X-22700 Y22700 I22700

N11 G01 G90 X 83895

N12 X 111937 Y74287

N13 G03 G91 X7563 Y14613 I10337 J14613

N14 X-17900 Y17900 I 17900

N15 X-10337 Y-3287 J 17900

N16 G01 G90 X24990 Y56632

N17 G03 G91 X-9590 Y-18532 I 13110 J18532

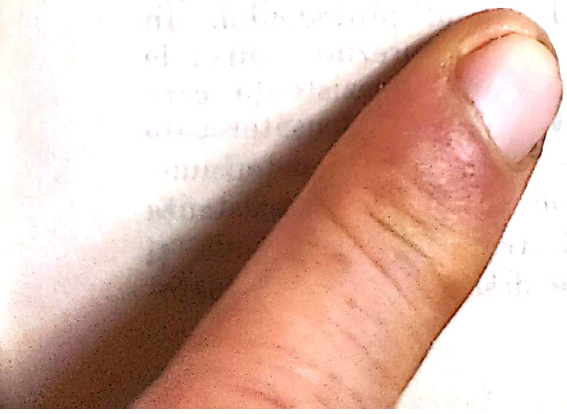
N18 G01 G90 Y1 5400

N19 G00 Z250000 T00 M05

N20 X000 Y85000

N21 T00 M06

N22 M30



Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 14

PROCESE TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „PIESE CU PROFIL COMPLEX ÎN SPAȚIU“

14.1. PRELUCRAREA PRIN SCÎNTEI ELECTRICE A PROFILULUI MATRIȚELOR

Procedeul de prelucrare prin scîntei electrice este cunoscut și sub denumirea de prelucrare prin electroeroziune.

Principiul procedeului constă în prelevarea metalului de pe suprafața piesei prin intermediul descărcărilor electrice de scurtă durată, repetate, între piesă și sculă.

Procedeul se poate aplica cu succes pentru operațiile de profilare. În acest caz este necesar să se asigure atît durata și amplitudinea bine stabilită sau determinată a descărcării impulsurilor, cît și reglarea precisă a spațiului dintre electrodul-sculă și piesă.

Ambii electrozi, respectiv scula și piesa, sînt cufundați, într-un lichid dielectric și anume petrol. La mărirea tensiunii între electrozi crește intensitatea cîmpului în dielectric, are loc străpungerea dielectricului care se ionizează și se formează un canal de plasmă cu o înaltă conductibilitate electrică. Temperatura în canalul plasmei este cuprinsă între 10—15 mii grade Celsius (°C).

O temperatură atît de mare face ca la suprafața piesei și a sculei în locul unde s-a produs descărcarea electrică metalul se topește, se evaporă și se ionizează. Se consideră că, forțele electromagnetice aruncă cu forță metalul topit de pe suprafața piesei. O altă considerație constă în aceea, că îndepărtarea metalului de pe suprafața piesei are loc datorită „loviturii“ termice foarte scurte a scînteii electrice. În afară de această presupunere, în decursul unui interval de timp foarte scurt în interiorul canalului scînteii ia naștere o presiune atît de ridicată, încît ea „suflă“ metalul pe piesă.

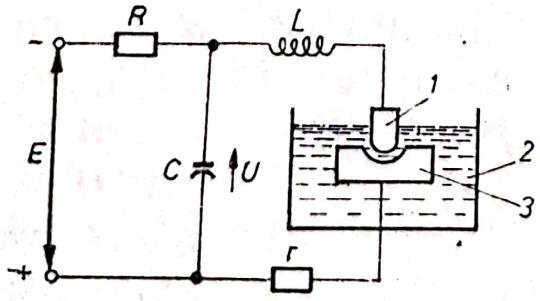


Fig. 14.1.1. Schema de principiu a generatorului de relaxare.

Pe baza schemei din figura 14.1.1, a generatorului de relaxare se înțelege ușor principiul de lucru al procedeului. În schema respectivă E reprezintă sursa de tensiune continuă; R — rezistența care limitează curentul; C — condensator care se încarcă de la sursă pînă la o tensiune oarecare U la care se distruge rezistența interstițiului dintre electrodul sculă și piesă și începe descărcarea condensato-

rului; L — inductanța conductorilor de descărcare: r — rezistența conductorilor și a canalului scînteii.

Mărimea U este funcție de mărimea interstițiului și de materialul electrodului-sculă, a piesei, precum și de lichidul dielectric.

În circuitul de încărcare se va înmagazina cantitatea maximă de energie numai dacă va fi îndeplinită următoarea condiție:

$$U = 0{,}72\ E. \tag{14.1.1}$$

Frecvența descărcărilor se determină cu relația:

$$F = \frac{I}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}, \tag{14.1.2}$$

relație confirmată pe cale experimentală.

În pauzele dintre descărcările condensatorului, prin spațiul interstițiului dintre electrodul-sculă și piesă, nu trebuie să treacă curent electric. În afară de aceasta, trebuie ca imediat după descărcare conductibilitatea electrică a interstițiului să scadă la zero. În caz contrar, scurgerea continuă a curentului face ca tensiunea în condensatori să nu se ridice, pînă la tensiunea de străpungere și apare un regim staționar de descărcare prin arc, lucru care conduce la scăderea bruscă a calității prelucrării, precum și schimbarea structurii suprafeței.

Experimental s-a stabilit că, nu apar descărcări prin arc,atunci cînd mărimea minimă a rezistenței balastului (a materialului prelevat) este egală cu

$$R_{min} = \frac{60}{\sqrt{C}}. \tag{14.1.3}$$

Existența rezistenței minime R_{min} limitează frecvența descărcărilor, lucru care face să scadă productivitatea prelucrării.

S-a demonstrat, experimental, că procesul de eroziune electrică în timp este de numai 15%; restul de timp se consumă cu încărcarea condensatorului. Viteza de prelucrare poate fi mărită numai prin mărirea numărului de descărcări, însă în acest caz calitatea suprafeței prelucrate se înrăutățește foarte mult.

Calitatea suprafeței prelucrate prin electroeroziune. Energia condensatorului încărcat este:

$$Q = \frac{1}{2} U^2 C. \tag{14.1.4}$$

Întrucît numai o parte din energia înmagazinată în condensator se consumă cu procesul de eroziune, se poate considera, că mărimea energiei, consumate nemijlocit cu îndepărtarea de metal, se determină prin relația:

$$V = k_1 U^2 C, \tag{14.1.5}$$

în care k_1 este un coeficient totdeauna mai mic decît 0,5.

În locul în care acționează impulsul energiei electrice pe suprafața piesei se formează un mic crater de formă sferică. Admițînd această ipoteză se poate considera că, volumul materialului îndepărtat este proporțional cu cubul adîncimii craterului. Dacă în continuare se admite că, craterele sînt identice

Scanned with OKEN Scanner

și au un raport constant între adîncime și diametru, iar adîncimea medie a lor este h_{med}, prin care se definește rugozitatea suprafeței, se poate scrie:

$$h_{med}^3 = k_2 U^2 C$$

sau

$$h_{med} = k_1 U^{\frac{2}{3}} C^{\frac{1}{3}}. \qquad (14.1.6)$$

Pe baza datelor experimentale s-a obținut următoarea relație:

$$h_{med} = k U^{0,5} C^{0,31 \div 0,36}. \qquad (14.1.7)$$

Rugozitatea suprafeței ajunge pînă la $R_a = 1,8 - 3,9$ μm. La lucrul cu regimuri mai scăzute, pe seama micșorării vitezei de lucru, calitatea suprafeței poate fi îmbunătățită.

Precizia de prelucrare. Întrucît în timpul procesului de lucru, electrodul-sculă nu vine în contact cu piesa și asupra lui nu se exercită nici o forță însemnată, el poate fi executat dintr-un material cu rezistență foarte mică.

Precizia de prelucrare depinde de precizia de execuție a electrodului. La determinarea formei și a dimensiunilor electrodului-sculă trebuie să se ia în considerare următorii factori: — eroziunea electrică pe suprafețele laterale ale alezajului prelucrat, precum și ale sculei. Acești doi factori fac ca dimensiunile alezajului prelucrat să fie mai mari în partea superioară (de unde a început prelucrarea), decît în partea inferioară (de sfîrșit a prelucrării). Pentru ridicarea preciziei de prelucrare trebuie ca prelucrarea să se efectueze în două etape și anume: în prima etapă să se facă degroșarea cu productivitate ridicată și precizie scăzută, iar în etapa a doua, finisarea cu o productivitate scăzută și cu o precizie ridicată.

Un alt factor important care influențează asupra preciziei de prelucrare este materialul din care se confecționează electrodul-sculă pentru fiecare caz concret în parte, de calitatea căruia depinde uzura lui și implicit precizia de prelucrare.

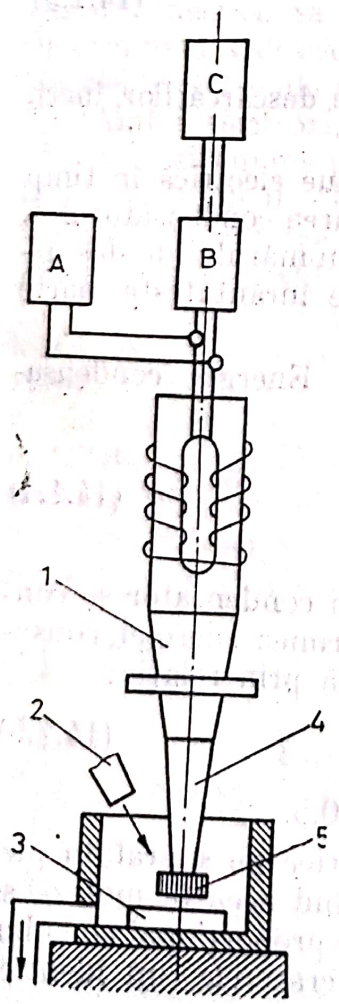


Fig. 14.2.1. Schema de principiu a instalației de prelucrare cu ajutorul ultrasunetelor.

14.2. PRELUCRAREA CU AJUTORUL ULTRASUNETELOR A PROFILULUI MATRIȚELOR

Prelucrarea mecanică a matrițelor și a altor piese din materiale și metale dure a fost totdeauna o problemă greu de rezolvat de către tehnologi. În ultimul timp însă, de cînd a început să se înrădăcineze tot mai mult în producție prelucrarea cu ajutorul ultrasunetelor, prelucrarea materialelor și a metalelor foarte dure a încetat a mai fi o problemă grea pentru tehnologi.

Principiul acestei metode de prelucrare mecanică cu ajutorul ultrasunetelor a cărei schemă este reprezentată în figura 14.2.1 constă în următoarele: scula 5 care

are forma geometrică la fel ca cea care trebuie să se execute în piesa care se prelucrează, execută în timpul lucrului mişcări foarte repezi rectilinii-alternative cu amplitudinea de numai cîteva sutimi de milimetru. Ea este fixată de vibratorul *1* prin intermediul concentratorului *4*. La partea de lucru a sculei se aduce jetul de lichid *2*, care poate să fie apă sau ulei cu praf abraziv în suspensie. Granulelor abrazive din lichid, sub acţiunea vibraţiilor ultrasonore, li se imprimă o acceleraţie care întrece de zeci de mii de ori acceleraţia gravitaţiei. Granulele abrazive în această stare bombardează (lovesc) suprafaţa piesei care se prelucrează *3*, cu o forţă care este de cîteva zeci de mii de ori mai mare decît greutatea lor proprie. În felul acesta granulele abrazive smulg şi îndepărtează de pe suprafaţa piesei care se prelucrează particule mici de metal. Fiecare granulă abrazivă execută cîte 20—30 mii lovituri pe secundă în funcţie de frecvenţa generatorului. Viteza de lucru (mm/min) este în funcţie de concentraţia de granule abrazive în lichid şi creşte cu creşterea acesteia din urmă. O influenţă foarte mare asupra productivităţii acestei metode de prelucrare mecanică o are şi viscozitatea lichidului în care se află abrazivul în suspensie. Cu cît viscozitatea lichidului utilizat este mai mare, cu atît mai mică este productivitatea prelucrării. Lichidul utilizat pentru acest scop, care asigură cea mai mare productivitate, este apa naturală la temperatura de 20° sau apa distilată, precum şi apa cu săpun.

În această metodă de prelucrare, spre deosebire de altele, scula nu are un rol activ în îndepărtarea de aşchii de pe suprafaţa care se prelucrează a piesei. Rolul sculei este numai de a imprima granulelor abrazive energia cinetică necesară, pentru ca acestea la rîndul lor să îndepărteze cantitatea necesară de metal de pe suprafaţa piesei. Cu toate acestea în timpul procesului de prelucrare scula se uzează şi de aceea şi la prelucrarea după această metodă, ca şi la prelucrarea cu scule cu muchii aşchietoare metalice, micşorarea la maximum a uzurii sculei este una din preocupările importante ale tehnologului. Materialele foarte moi nu sînt deloc recomandate pentru confecţionarea sculelor, întrucît pe lîngă faptul că apar deformaţii plastice, la prelucrarea cu amplitudini mari ale oscilaţiilor, ele absorb (amortizează) o mare parte din ultrasunete.

Uzura sculei mai este funcţie şi de duritatea materialului din care este confecţionată piesa care se prelucrează. Astfel de exemplu, uzura relativă a sculei confecţionată din oţel rotund calibrat la prelucrarea sticlei este de 0,48%, iar la prelucrarea aliajului dur este de 35%. Uzura absolută a sculei nu depinde în mod nemijlocit de duritatea materialului, ci de mărimea timpului de lucru.

Uzura sculei este influenţată, de asemenea, şi de tenacitatea materialului, precum şi de mărimea suprafeţei care se prelucrează. Cu mărirea tenacităţii materialului uzura sculei creşte însă într-o măsură mai mică decît cu mărirea suprafeţei de prelucrat.

Uzura mare a sculei impune recondiţionarea ei frecventă prin îndepărtarea de pe suprafaţa frontală a întregii părţii uzate. Frecvenţa recondiţionărilor depinde de precizia de prelucrare şi de calitatea suprafeţei impusă alezajului care se prelucrează.

Astfel, pentru alezaje cu adîncimea de 2 ...10 mm frecvenţa reascuţirii sculei uzate este de 5 ... 9 ori, atunci cînd precizia de prelucrare este de 0,1 ... ... 0,002 mm.

La prelucrările de superfinisare a găurilor străpunse lungimea de lucru a sculei trebuie să nu fie mai mică de 2,5 ... 3,5 din lungimea găurii care se prelucrează.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a se putea obține o precizie cît mai mare de prelucrare, trebuie ca prelucrarea să se facă din cel puțin două treceri: una de degroșare și alta de finisare. Prelucrarea de degroșare se face cu abraziv cu o granulație mare (aproximativ 12) și cu scule care au dimensiunile mai mici decît dimensiunile nominale ale piesei, iar prelucrarea de finisare se face cu abraziv cu granulație mică și cu scule cu dimensiuni apropiate de cele nominale. Cu cît adîncimea alezajului de prelucrat este mai mare, cu atît este mai greu de realizat o precizie ridicată de prelucrare. Acest lucru se datorește faptului că la introducerea în zona de așchiere a lichidului cu abraziv în suspensie și la evacuarea acestuia prin spațiul dintre sculă și suprafața găurii se îndepărtează o cantitate oarecare de metal de pe acesta din urmă.

Dacă se impune găurii care se prelucrează să aibă pereții perfect paraleli, trebuie ca prelucrarea să se facă cu trei scule consecutiv. Diametrul fiecărei scule este mai mare decît al sculei precedente cu 0,1 mm. Sculele a doua și a treia lucrează în condiții mai ușoare, de aceea uzura lor pe suprafața laterală este mult mai mică și, în consecință, se poate obține o precizie de prelucrare pînă la 0,01 mm. Granulația abrazivului din lichid la ultima trecere trebuie să fie foarte mică (M3).

Calitatea suprafeței prelucrate este funcție de mărimea granulației abrazivului utilizat. La o prelucrare grosolană (de degroșare) cu abraziv cu granulația 12 (1 000 — 1 700 μm), cu amplitudinea oscilației de 36 μm și cu o apăsare a sculei de 9 N s-a obținut o calitate a suprafeței cuprinsă în clasa 18 (cu $H_{max} = 25$ μm). Dacă la prelucrarea cu același regim de lucru s-a utilizat abraziv mai fin, calitatea suprafeței obținute a fost cuprinsă în clasa 5-6 (cu $H_{max} = 2{,}5$ μm).

Influența mărimii granulației abrazivului asupra calității suprafeței prelucrate și asupra preciziei de prelucrare este redată în tabelul 14.2.1.

Tabelul 14.2.1

Mărimea granulației, rugozitatea și precizia de prelucrare

Caracteristici	Prelucrarea găurilor	Granulația carburii de bor			
		10	5	3	M14
Mărimea diametrului găurii în raport cu diametrul sculei, mm	Conice	0,17	0,12	0,05	0,03
	Cilindrice înfundate	0,33	0,24	0,12	0,07
Rugozitatea suprafețelor R_a, în μm.	Conice	5,3—3,2	3,2—1,6	0,8	0,4—0,2
	Cilindrice înfundate	5,3—3,2	3,2—1,6	0,8	0,4—0,2
Precizia de prelucrare	Conice	$\pm 0{,}02$ $-0{,}04$	$+0{,}02$	$\pm 0{,}01$	$\pm 0{,}005$
	Cilindrice înfundate	$\pm 0{,}05$ $-0{,}01$	$\pm 0{,}03$ $-0{,}01$	$\pm 0{,}02$	$+0{,}01$

Un alt factor care influențează asupra calității suprafeței prelucrate este însăși calitatea suprafeței sculei. Cu cît calitatea suprafeței sculei este mai ridicată, cu atît calitatea suprafeței prelucrate a piesei este mai mare, în special la prelucrarea găurilor profilate sau conice. De aceea, pentru prelucrarea unor astfel de găuri se impune ca suprafața sculei să aibă o calitate superioară.

Scanned with OKEN Scanner

La prelucrarea găurilor cilindrice sau conice (circulare) se poate elimina într-o măsură foarte mare influenţa calităţii suprafeţei sculei asupra calităţii suprafeţei prelucrate a piesei, dacă se roteşte piesa în timpul prelucrării. În acest caz, în afară de îmbunătăţirea calităţii suprafeţei prelucrate se ridică şi precizia de prelucrare a piesei.

Asupra productivităţii prelucrării aliajelor dure cu ajutorul ultrasunetelor mai influenţează în afară de factorii amintiţi: secţiunea de lucru a sculei, granulaţia abrazivului, concentraţia lichidului cu abraziv în suspensie şi modul în care lichidul este condus în zona de aşchiere, adîncimea găurii care se prelucrează, precum şi puterea instalaţiei.

Productivitatea prelucrării poate fi mărită prin micşorarea secţiunii de lucru a sculei. Acest lucru se poate realiza prin înlocuirea sculei pline cu sculă tubulară, care în plus asigură o circulaţie mai bună a lichidului în zona de aşchiere.

Adîncimea găurii care se prelucrează are o influenţă negativă asupra productivităţii: cu cît adîncimea găurii este mai mare, cu atît mai mică este productivitatea prelucrării. De exemplu, productivitatea prelucrării unei găuri cu adîncimea de 8—10 mm este de 5—10 ori mai mică faţă de productivitatea prelucrării găurilor cu adîncimi mai mici.

O influenţă mai mare asupra productivităţii prelucrării o are amplitudinea oscilaţiilor sculei, după cum se vede în tabelul 14.2.2, în care sînt prezentate datele obţinute la prelucrarea unei pastile din metal dur VK8 cu grosimea de 7 mm. Abrazivul folosit a fost carbură de bor cu granulaţia de 10, iar scula tubulară cu diametrul exterior de 8 mm şi cel interior de 6 mm. La prelucrarea aceleiaşi pastile cu amplitudinea oscilaţiilor sculei de 0,12 mm, însă cu granulaţia abrazivului (tot carbură de bor) de numai 220 şi 320, productivitatea prelucrării a scăzut de 3—5 ori, respectiv de 5 ori.

Tabelul 14.2.2

Amplitudinea oscilaţiilor şi productivitatea prelucrării

Amplitudinea oscilaţiilor, mm	Timpul de lucru, min	Viteza de lucru, mm/min	Productivitatea, mm³/min
0,02	110	0,067	1,5
0,05	67,3	0,110	2,2
0,10	23	0,330	7,3
0,12	18	0,400	9,3

După cum rezultă din cele prezentate, domeniul de aplicare în producţie a acestei metode moderne de prelucrare a metalelor şi materialelor dure cu ajutorul ultrasunetelor este cam îngust (prelucrarea poansoanelor şi matriţelor pentru ştanţare, a matriţelor pentru ambutisare). Cu ajutorul ultrasunetelor se pot prelucra deocamdată numai piese de dimensiuni relativ mici. Pentru prelucrarea de suprafeţe mari sînt necesare puteri mari ale vibratorului, realizarea cărora este legată de unele greutăţi. Un avantaj deosebit de preţios pe care-l prezintă prelucrarea cu ajutorul ultrasunetelor constă în aceea că, se elimină complet defectele de suprafaţă, care apar la prelucrările prin electroeroziune şi rectificare şi anume acela de prelucrare de finisare după prelucrările prin electroeroziune sau rectificare a pieselor confecţionate din metale dure.

Scanned with OKEN Scanner

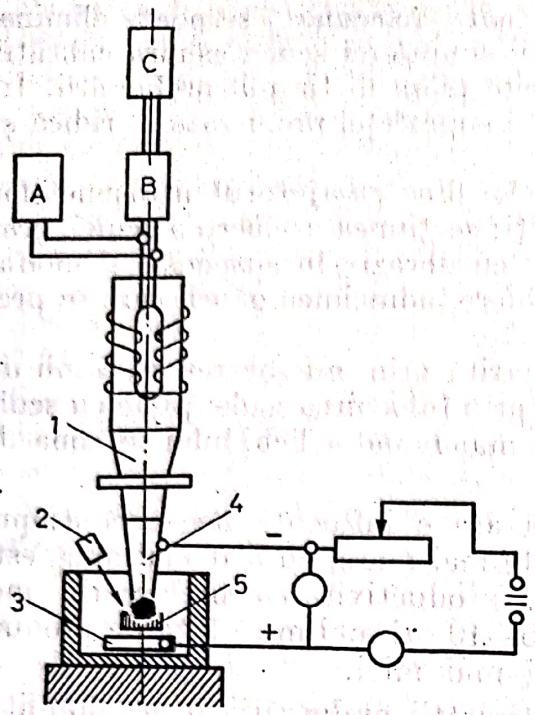


Fig. 14.2.2. Schema de principiu a instalației de prelucrare cu ajutorul ultrasunetelor combinat cu cel electrochimic de dizolvare anodică.

Prelucrarea cu ajutorul ultrasunetelor a metalelor tenace este foarte neproductivă în raport cu productivitatea prelucrării metalelor și aliajelor dure. Astfel, de exemplu, viteza de lucru la găurirea unei piese din aliaj dur este de 0,4 mm/min, la găurirea unei piese din oțel de 0,2 mm/min, iar la găurirea unei piese din aliaj refractar de numai 0,1 mm/min. Dacă însă această metodă se combină ca un proces electrochimic de dizolvare anodică, productivitatea prelucrării crește de 2—3 ori și uzura sculelor se micșorează de 2—4 ori față de prelucrarea numai cu ajutorul ultrasunetelor [35]. După această metodă de prelucrare combinată se pot prelucra la fel de bine și metalele tenace ca și cele foarte dure. Schema prelucrării combinate este reprezentată în figura 14.2.2. După cum se vede, la schema obișnuită a prelucrării cu ajutorul ultrasunetelor s-a adăugat o sursă de curent electric continuu de 12—18 V a cărui pol pozitiv este legat la piesa care se prelucrează, iar cel negativ la sculă sau la concentrator. Piesa trebuie să fie izolată de masa instalației pentru a nu se face scurtcircuit la conectarea curentului.

Abrazivul se află în suspensie (concentrația fiind de 50%) în electrolitul din rezervorul căptușit cu plumb. Drept electrolit se poate folosi o soluție de apă cu sare de bucătărie (30%).

Procesul electrochimic de dizolvare anodică este procesul binecunoscut care stă la baza lepuirii electrice, a galvanizării.

Acest proces necombinat cu ultrasunete este puțin productiv și se caracterizează prin aceea, că viteza de dizolvare a metalului scade tot mereu. Acest lucru se explică prin aceea, că pe anod se formează un film de oxid rău conducător de electricitate, care cu timpul acoperă tot mai mult suprafața piesei care se prelucrează. Acest film de oxid întrerupe procesul de dizolvare, pentru că el însuși nu se dizolvă. Dacă se combină acest proces cu procesul de prelucrare cu ajutorul ultrasunetelor, atunci granulele abrazive împiedică formarea filmului de oxid și curentul electric care trece prin electrolit îndepărtează tot timpul particulele de metal de pe suprafața piesei.

După cum se știe în procesul de dizolvare anodică, catodul nu se uzează, întrucît reacțiile fizice de formare a oxizilor au loc numai pe anod.

La prelucrarea combinată granulele de abraziv acționează asupra filmului de oxizi, care are o rezistență și elasticitate mult mai mică decît metalul, din care cauză se presupune că ele după ce lovesc filmul de oxizi și suprafața piesei nu se reflectă (nu se reîntorc să lovească) cu atîta putere în sculă ca în cazul prelucrării necombinate. Datorită acestui fapt uzura sculei, așa după cum s-a arătat mai sus, este de 2—4 ori mai mică decît în cazul prelucrării numai cu ajutorul ultrasunetelor, ceea ce face ca precizia de prelucrare să crească foarte mult.

Scanned with OKEN Scanner

Productivitatea prelucrării depinde într-o măsură foarte mare de densitatea curentului electric (A/cm²) și de alegerea electrolitului. Este bine să se știe că intensificarea procesului de dizolvare a metalului nu se poate realiza numai prin mărimea densității curentului electric. Prin mărirea exagerată a densității curentului se îndepărtează metal și de pe suprafața care nu trebuie prelucrată a piesei și care se găsește în apropierea sculei.

Această metodă de prelucrare combinată poate fi considerată ca o rezervă bogată de mărire a productivității prelucrării cu ajutorul ultrasunetelor.

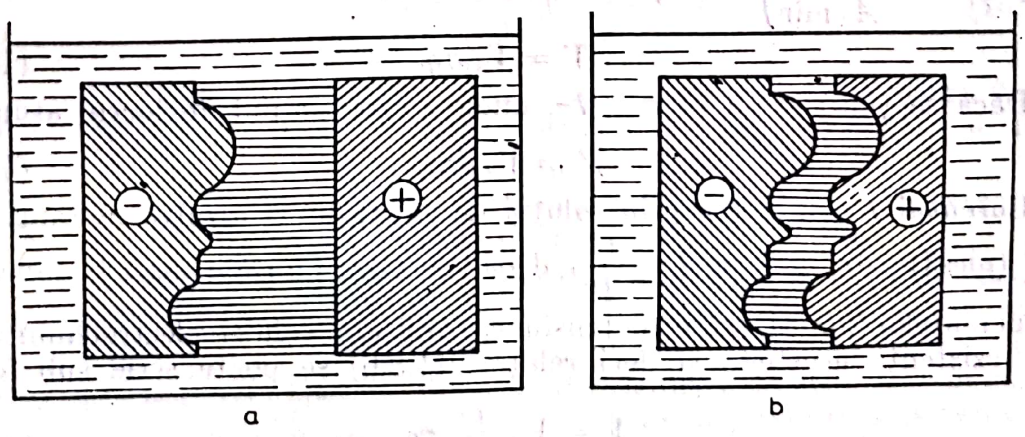
14.3. PRELUCRAREA PE CALE ELECTROCHIMICĂ A SUPRAFEȚELOR CU PROFIL COMPLEX ÎN SPAȚIU

Principiul prelucrării electrochimice se bazează pe legea lui *Faraday*, care precizează că masa ce se depune pe un electrod în timpul electrolizei este proporțională cu cantitatea de electricitate ce trece prin circuit.

Principiul reproducerii formei sculei pe piesă este arătat în figura 14.3.1.

Piesa este legată la anod, iar electrodul sculă la catodul unui generator de curent continuu. În momentul începerii prelucrării (fig. 14.3.1, *a*) distanțele dintre anod și catod diferă, ceea ce face ca să fie și densitățile locale de curent diferite. În zonele în care distanțele dintre anod și catod sînt mici, dizolvarea anodică este mai pronunțată decît în zonele în care distanțele dintre anod și catod sînt mai mari, datorită densității diferite de curent în zonele respective. În momentul în care se realizează un spațiu egal în toate punctele între anod și catod, începe îndepărtarea uniformă de metal și realizarea formei electrodului sculă (fig. 14.3.1, *b*). Materialul îndepărtat de pe anod este antrenat în afara zonei de lucru de către electrolit care este obligat să curgă prin spațiul respectiv cu viteză mare, împiedicînd astfel depunerea lui pe catod, care-și păstrează astfel forma nemodificată.

În cazul prelucrării electrochimice, din cauza circulației forțate a electrolitului prin spațiul dintre electrozi, rezistențele datorate polarizării sînt foarte mici în comparație cu prelucrarea fără circulație forțată și deci, ele se pot neglija. Se obțin astfel intensități de curent mari în zona de lucru.



Fih. 14.3.1. Reprezentarea schematică a principiului reproducerii formei sculei pe piesă.

Scanned with OKEN Scanner

Cantitatea de metal P dizolvată de pe anod în timpul prelucrării electrochimice, conform legii lui *Faraday* este:

$$P = k\int I\,dt = kq, \tag{14.3.1}$$

unde k este echivalentul electrochimic al metalului care se prelucrează; I — curentul electric care trece prin soluția de electrolit; q — cantitatea de electricitate care trece prin soluția electrolit.

Dacă echivalentul electrochimic al metalului se exprimă în funcție de echivalentul gram m, relația (14.3.1) devine:

$$P = \frac{m}{F}q, \tag{14.3.2}$$

F fiind cantitatea de electricitate necesară pentru a dizolva un echivalent gram și este egală cu 95 500 coulombi.

Deoarece nu întreaga cantitate de electricitate introdusă în instalația de prelucrare participă nemijlocit la dizolvarea metalului, în calcule intervine randamentul de curent η și deci, cantitatea de metal P dizolvată de pe anod va fi:

$$P = \frac{m}{F}q\eta. \tag{14.3.3}$$

Întrucît pentru determinarea productivității prelucrării electrochimice interesează volumul de metal îndepărtat de pe piesa supusă prelucrării, se înlocuiește P cu echivalentul său $V\rho$, V fiind volumul de metal dizolvat, iar ρ densitatea metalului respectiv și deci relația (14.3.3) se transformă în:

$$V\rho = \frac{m}{F}q\eta,$$

de unde rezultă:

$$V = \frac{m}{F\rho}q\eta. \tag{14.3.4}$$

Deoarece pentru un anumit metal mărimile m, F și ρ sînt constante și $\frac{m}{F\rho}$ este tocmai volumul specific de metal dizolvat, notat cu V_{sp} $\left(\text{care se exprimă în } \frac{\text{mm}^3}{A\cdot\text{min}}\right)$, relația (14.3.4) devine:

$$V = V_{sp}q\eta. \tag{14.3.5}$$

Dacă se ține seama că $q = I\tau$, unde τ este timpul de lucru, atunci

$$V = V_{sp}I\tau\eta. \tag{14.3.6}$$

Curentul I care trece prin soluția de electrolit și dizolvă metalul de pe anod (piesă) este egal cu $I = \frac{U}{R}$, deoarece *legea lui Ohm* poate fi aplicată și conductoarelor ionice (U este tensiunea aplicată celulei electrochimice, iar R — rezistența acesteia) și deci relația (14.3.6) se poate scrie sub forma:

$$V = V_{sp}\frac{U}{R}\tau\eta. \tag{14.3.7}$$

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se consideră o celulă electrochimică în care electrozii, respectiv anodul și catodul, au suprafețele frontale egale și paralele și așezați paralel unul față de celălalt (figura 14.3.2), rezistența R poate fi exprimată prin relația:

$$R = \frac{1}{\varkappa}\,\frac{\delta}{A}, \qquad (14.3.8)$$

în care δ este distanța dintre electrozi; $\varkappa$ — conductivitatea soluției de electrolit; A — suprafața frontală a electrozilor.

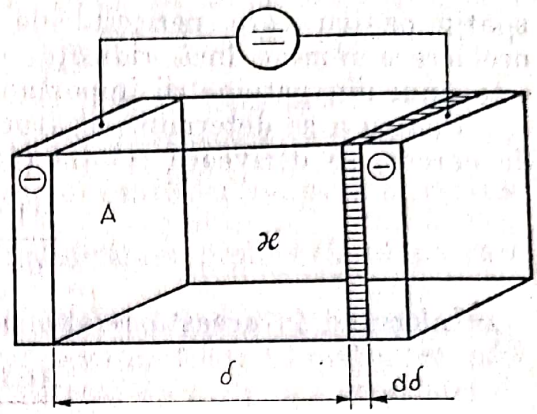


Fig. 14.3.2. Celulă electrochimică cu doi electrozi.

Înlocuind pe R din relațiile (14.3.8) în relația (14.3.7) se obține:

$$V = V_{sp}\,\frac{U}{\delta}\,\tau\varkappa A\eta. \qquad (14.3.9)$$

Avînd în vedere faptul, că într-o perioadă de timp de lucru $d\tau$ se dizolvă metal pe o adîncime $d\delta$, volumul dizolvat se poate exprima prin:

$$dV = A\,d\delta. \qquad (14.3.10)$$

Derivîndu-se relația (14.3.9) în funcție de τ se obține:

$$\frac{dV}{d\tau} = V_{sp}\,\frac{U}{\delta}\,\varkappa A\eta, \qquad (14.3.11)$$

sau ținînd seama de (14.3.10) rezultă

$$\frac{A\,d\delta}{d\tau} = V_{sp}\,\frac{U}{\delta}\,\varkappa A\eta. \qquad (14.3.12)$$

Din relația 14.3.12) se poate explicita viteza de dizolvare a metalului, care este și viteza de prelucrare:

$$\delta' = V_{sp}\,\frac{U\varkappa A}{\delta}\,\eta, \qquad (14.3.13)$$

V_{sp}, U, $\varkappa$ și η fiind constante pentru anumite condiții de lucru (de exemplu prelucrarea unui anumit oțel folosind o tensiune constantă și electrolit cu o concentrație și temperatură de lucru dată) relația (14.3.13) devine:

$$\delta' = \frac{C}{\delta}. \qquad (14.3.14)$$

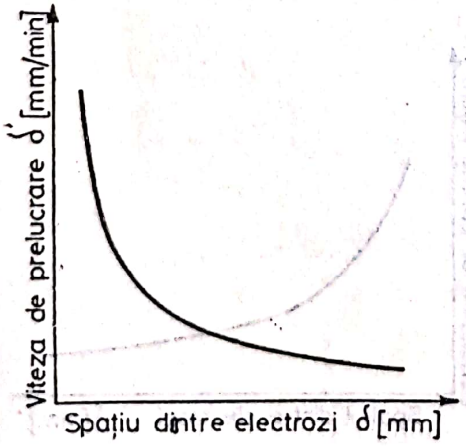


Fig. 14.3.3. Variația vitezei de prelucrare funcție de mărimea spațiului dintre electrozi.

Relația obținută arată că viteza de prelucrare este invers proporțională cu mărimea spațiului dintre electrozi.

Reprezentarea grafică a relației (14.3.14) este redată în figura 14.3.3.

Pentru a obține viteze mari de dislocare a metalului de pe piesă, respectiv viteze mari de prelucrare, trebuie micșorat foarte mult spațiul dintre piesă și electrodul-sculă. Spațiul respectiv nu poate fi micșorat oricît, deoarece apare pericolul de scurtcircuitare. Există totuși o valoare optimă a acestui

spațiu pentru care pericolul de scurtcircuitare este mic, iar viteza de prelucrare rămîne încă ridicată, datorită densității de curent ridicată, care este unul din parametrii importanți ai regimului de lucru.

Pentru a se determina legătura dintre viteza de prelucrare și densitatea de curent, se derivează relația (14.3.6) în raport cu τ:

$$\frac{dV}{d\tau} = V_{sp} I \eta. \tag{14.3.15}$$

Înlocuind în această relație pe dV în funcție de $Ad\delta$ se obține:

$$\frac{Ad\delta}{d\tau} = V_{sp} I \eta. \tag{14.3.16}$$

Dar, V_{sp} și η fiind constante pentru anumite condiții de lucru, iar raportul $\frac{I}{A}$ reprezentînd densitatea de curent i, relația (14.3.16) poate fi scrisă și sub forma:

$$\delta' = C_1 i. \tag{14.3.17}$$

Din relația (14.3.17) rezultă că pentru mărirea vitezei de prelucrare și deci a productivității prelucrării electrochimice, trebuie mărită densitatea de curent din zona de lucru. Reprezentarea grafică a relației (14.3.17) este arătată în figura 14.3.4.

Pentru a se determina legătura dintre densitatea de curent i și mărimea spațiului dintre electrozi, se vor folosi relațiile (14.3.14) și (14.3.17) din care rezultă:

$$i = \frac{C_2}{\delta}. \tag{14.3.18}$$

Reprezentarea grafică a relației obținute (14.3.18) este reprezentată în figura 14.3.5, din care rezultă că între cele două mărimi, densitatea de curent și spațiul dintre electrozi, denumit spațiu de prelucrare, există o legătură de inversă proporționalitate; la spații mici de prelucrare se obțin densități mari de curent, iar la spații mari se obțin densități mici de curent.

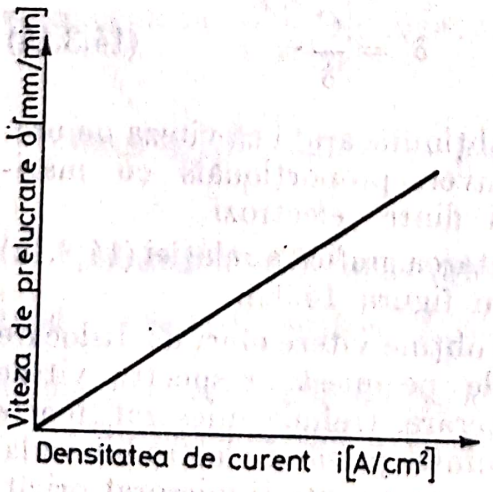


Fig. 14.3.4. Variația vitezei de prelucrare funcție de densitatea curentului din zona de lucru.

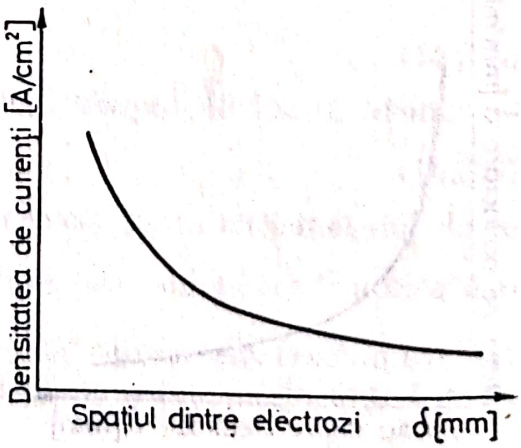


Fig. 14.3.5. Dependența dintre densitatea de curent din zona de lucru și spațiul dintre electrozi.

Scanned with OKEN Scanner

Din analiza relațiilor (14.3.17) și (14.3.18) rezultă că pentru a se putea asigura o productivitate a prelucrării ridicată trebuie ca prelucrarea să se realizeze cu o densitate de curent cît mai mare.

Pentru a se evita scurtcircuitarea trebuie însă ca densitatea de curent să aibă tot timpul prelucrării o valoare optimă. Densitatea de curent fiind egală cu $\frac{I}{A}$, rezultă că pentru menținerea ei constantă va trebui să se varieze intensitatea curentului pe măsură ce crește suprafața prelucrată A pe care densitatea de curent are valoarea optimă.

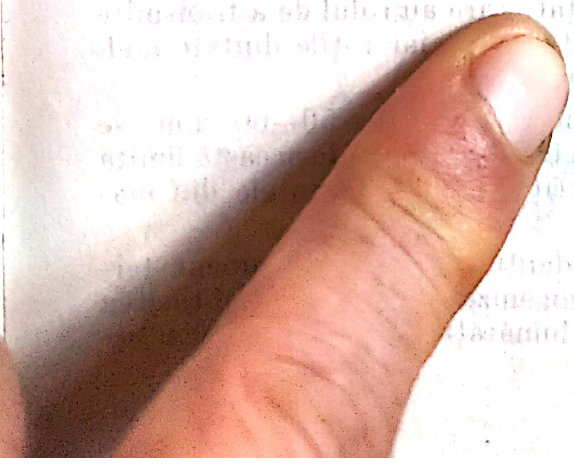
Deci, pentru a asigura executarea prelucrării cu o productivitate maximă constantă, trebuie ca la prelucrarea suprafețelor profilate în spațiu (cu diferențe de nivel), mașina să fie dotată cu posibilitatea de variație a avansului de lucru a sculei în funcție de variația suprafeței A prelucrate a piesei, precum și cu posibilitatea de variație a intensității curentului I pentru menținerea constantă a densității de curent în limitele valorii optime funcție de variația suprafeței A.

La Universitatea din Brașov (catedra T.C.M.) a fost realizat un sistem hidraulic de variație a avansului de lucru al sculei în funcție de variația presiunii electrolitului la un debit constant [53].

Metoda de prelucrare electrochimică asigură o productivitate de aproximativ 14 ori mai mare la prelucrarea pieselor cu profil complex, în special a matrițelor, decît prelucrarea clasică prin așchiere.

Un avantaj mare al metodei constă în aceea, că permite prelucrarea profilului matrițelor din materiale tratate termic înainte de prelucrare.

Acest lucru evită fisurarea în urma tratamentului termic, fapt întîlnit foarte frecvent la matrițele prelucrate prin frezare care au grosimi diferite ale pereților în diverse secțiuni.



Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 15

PROCESE TEHNOLOGICE OPTIME DE PRELUCRARE A PIESELOR DIN CLASA „ROȚI DINȚATE"

15.1. ROȚI DINȚATE CARACTERISTICE CARE CONSTITUIE CLASA RESPECTIVĂ

Roțile dințate sînt organe de mașini care intră în componența aproape a tuturor genurilor de mașini, ceea ce face ca procesul tehnologic de prelucrare a lor să fie diferit funcție de tipul de producție în care se execută mașinile respective.

Cu toată varietatea mare a roților dințate întîlnite în construcția de mașini din punct de vedere geometric și dimensional, după criterii tehnologice se pot împărți în: roți dințate cu o coroană-cilindrice cu dinți drepți, înclinați și curbi-melcate; roți dințate cu două sau mai multe coroane-cilindrice cu dinți drepți; axe cu o coroană dințată cilindrică sau conică cu dinți drepți, înclinați sau curbi (fig. 15.1.1).

Condițiile tehnice impuse roților dințate, din punct de vedere tehnologic sînt: alezajul central se execută de obicei după clasa 7—8 ISO de precizie și cu rugozitatea $R_a = 6{,}3—3{,}2$ μm; concentricitatea suprafeței exterioare a coroanei față de axa de simetrie a alezajului central este cuprinsă în clasa 1 de precizie; perpendicularitatea suprafețelor frontale a coroanei dințate și a butucilor față de axa de simetrie a alezajului central este de 0,15 μm sau mai mult, la 1 mm diametru, funcție de condițiile de exploatare.

Materialele din care se execută roțile dințate care transmit puteri mari sînt oțeluri cu crom, crom-nichel și crom-molibden, cementabile. Roțile dințate pentru transmisii obișnuite cu viteze periferice $v \leqslant 3$ m/s se execută din fontă sau oțel turnat și oțel OL 50. Roțile dințate care au rolul de a transmite o legătură cinematică se execută din material plastic, iar roțile dințate melcate se execută din bronz sau fontă antifricțiune.

Semifabricatele. Roțile dințate cu diametrul pînă la 50—60 mm se pot executa din bară laminată. Cele cu diametrul mai mare de această limită se execută din semifabricate turnate sau matrițate. Semifabricatele din material plastic se execută prin presare la cald.

Semifabricatele matrițate supuse după danturare unui tratament termic de cementare, se normalizează pentru omogenizarea structurii, obținerea unei structuri cu granulație fină și pentru îmbunătățirea prelucrării prin așchiere.

Scanned with OKEN Scanner

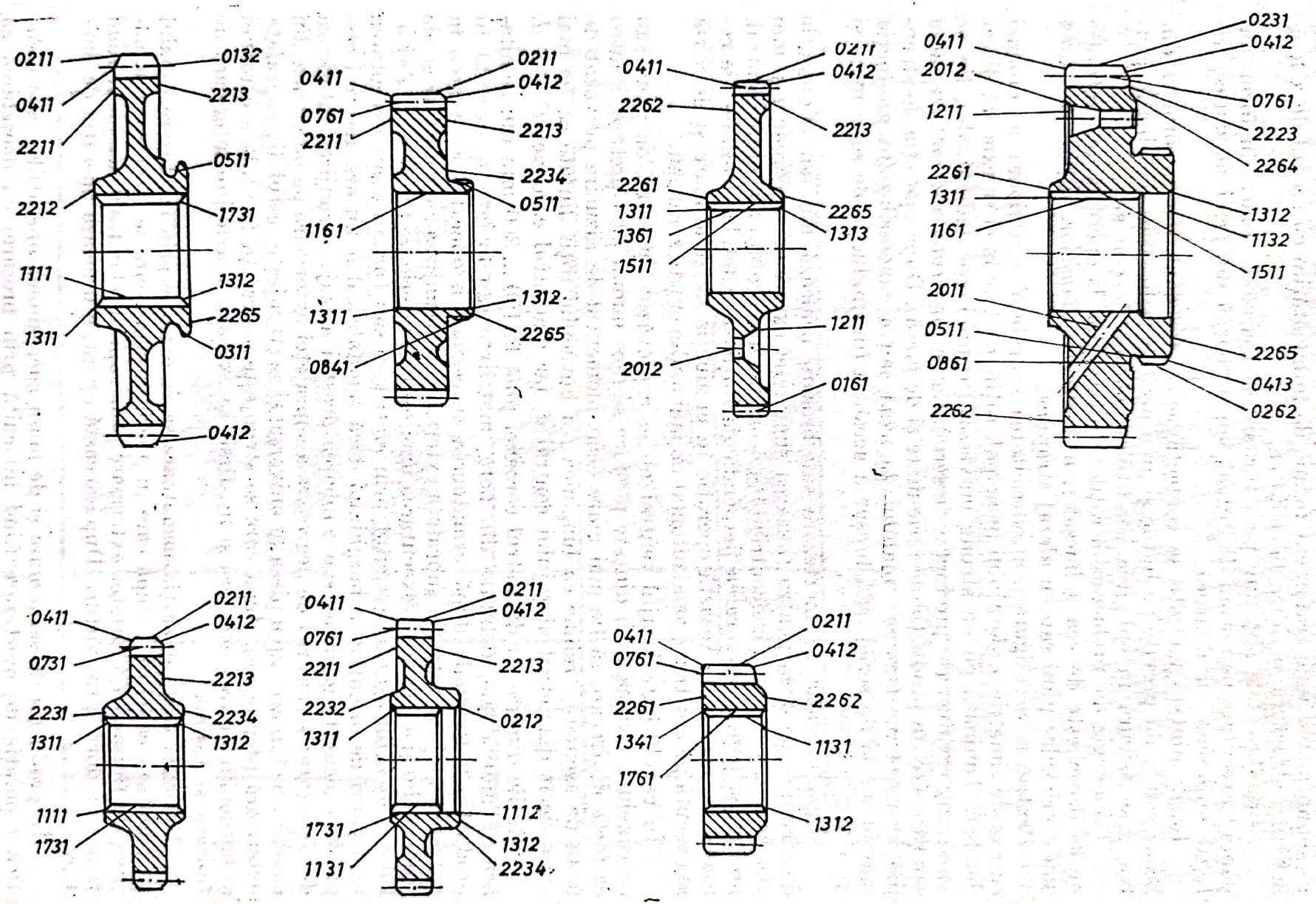


Fig. 15.1.1. Piese reprezentative din clasa „roți dințate".

Scanned with OKEN Scanner

Semifabricatele matriţate, care după danturare nu se mai cementează, se supun numai unui tratament termic de îmbunătăţire cu scopul de a li se schimba structura şi ridica tenacitatea.

Semifabricatele obţinute prin turnare se toarnă de obicei în forme de pămînt executate pe maşini de format sau se toarnă sub presiune sau centrifugal împreună cu dantura.

Roţile dinţate melcate se confecţionează din două părţi: coroana din bronz sau fontă presate pe butuc şi apoi prelucrate în stare asamblată, pentru a se asigura îndeplinirea condiţiilor tehnice de mai sus.

Tehnologia de prelucrare a roţilor dinţate pînă la operaţia de danturare nu se deosebeşte de cea a bucşelor, a discurilor, flanşelor, roţilor de curea sau a arborilor plini sau cu alezaj străpuns.

Pentru a se asigura concentricitatea suprafeţei exterioare a coroanei cu axa de simetrie a alezajului principal, roţile dinţate mici se execută direct din bară laminată pe un strung universal (în producţie individuală), fie pe un strung revolver (în producţia de serie), fie pe un strung automat cu patru sau şase axe (în producţia de serie mare şi de masă). După operaţia de strunjire urmează mortezarea canalului de pană sau a canelurilor (în producţia individuală şi de serie), sau broşarea acestora (în producţia de serie mare şi de masă).

După operaţia de mortezare sau broşare urmează din nou o operaţie de strunjire pe dorn pentru finisarea suprafeţei exterioare a coroanei şi mai ales pentru asigurarea concentricităţii acesteia cu suprafaţa alezajului central, precum şi pentru asigurarea perpendicularităţii suprafeţelor frontale ale coroanei şi butucului. Această operaţie în producţia de serie mare şi de masă se execută pe un strung semiautomat cu mai multe cuţite simultan.

În cazul cînd alezajul central nu este prevăzut cu canal de pană sau cu caneluri, fixarea roţii dinţate pe dorn se face numai prin presare. Pentru ca forţa de frecare să fie mai mare decît momentul de răsucire provocat de forţa de aşchiere, trebuie ca lungimea l a butucului roţii dinţate să fie mai mare decît diametrul alezajului central d, iar diametrul coroanei $D \leqslant 9\ d$.

Roţile dinţate cu diametrul coroanei pînă la 150 ... 300 mm din semifabricate individuale, debitate din bară, matriţate sau forjate se execută în producţia individuală după următoarea succesiune a operaţiilor: fixarea în universal pe jumătate din suprafaţa exterioară şi strunjirea suprafeţei frontale a butucului şi a coroanei; executarea unei teşituri interioare (dacă semifabricatul are alezajul central executat prin matriţare sau turnare) sau executarea unei găuri de orientare a burghiului dacă semifabricatul nu are alezajul respectiv executat; găurirea sau adîncirea acestui alezaj; strunjirea interioară de degroşare; strunjirea de degroşare a suprafeţei exterioare pe porţiunea din consolă. Se întoarce apoi piesa în universal şi se strunjeşte restul din suprafaţa exterioară (degroşare), după care se strunjeşte suprafaţa frontală a coroanei şi butucului, teşirea acestora şi în sfîrşit se execută o strunjire interioară de finisare şi teşirea.

Urmează ca în operaţia următoare să se execute prin mortezare canalul de pană sau canelurile, după care în operaţia următoare se efectuează strunjirea de finisare a suprfeţei exterioare şi a suprafeţelor frontale, piesa fiind fixată pe dorn între vîrfuri. După această operaţie urmează operaţia de danturare.

În producţia de serie mare şi de masă succesiunea operaţiilor este identică (operaţia de mortezare fiind înlocuită prin broşare) cu deosebirea că prelucrările se fac pe strunguri semiautomate cu mai multe scule simultan.

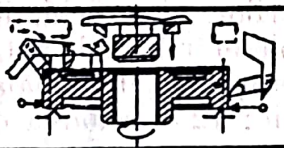
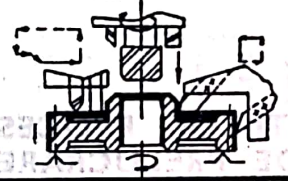
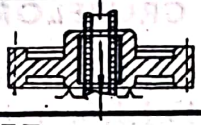
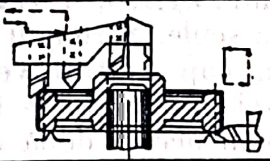
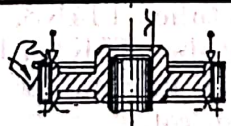
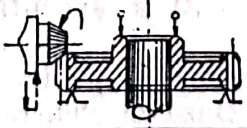
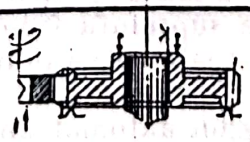
Scanned with OKEN Scanner

În producția de masă foarte economică este prelucrarea roților dințate pentru industria de automobile pe linii tehnologice automate. Pentru roțile dințate cilindrice cu diametrul exterior de 80—250 mm și cel interior de 30—160 mm semifabricatul utilizat este matrițat sau turnat cu adaos minim de prelucrare. Procesul tehnologic de prelucrare a roților dințate cilindrice cu o coroană este redat în tabelul 15.1.1.

Linia tehnologică respectivă funcționează în Uzina de automobile Lihaciov din Moscova. Linii tehnologice automate similare funcționează în multe țări: S.U.A., Anglia, Republica Federală Germania, Republica Democrată Germană, Franța, Italia etc.

Tabelul 15.1.1

Procesul tehnologic de prelucrare a roților dințate cilindrice

	DENUMIREA OPERAȚIEI	SCHEMA DE REGLAJ	Regimul de așchiere		Timpul de lucru (sec)	
			Viteza de așch. [m/min]	Avansul [mm]	Timpul de bază de mașină	Timpul auxiliar
1	Strunjirea suprafeței exterioare Strunjirea suprafeței frontale a coroanei. Adâncirea suprafeței interioare Lămarea suprafeței frontale a butucului		170 170 -45 -45	0.68 0.68 0.13 0.13	75	31
2	Strunjirea suprafeței exterioare a coroanei Strunjirea suprafeței frontale Adâncirea de finisare a suprafeței interioare. Lămarea suprafeței frontale a butucului		170 170 -45 -45	0.68 0.68 0.13 0.13	65	31
3	Broșarea canelurilor interioare		1	-	-48	16
4	Strunjirea suprafeței exterioare (de finisare) Strunjirea suprafeței frontale a coroanei idem a butucului		216 216 60	0.25 0.25 0.35	-41	36
5	Alezarea danturii		-47	6.1	312	29
6	Raionarea frontală a dinților		28	-	85	26
7	Șeverulrea danturii		-40	0.255/0.04	77	36

Scanned with OKEN Scanner

15.2. PROCESE TEHNOLOGICE OPTIME TIPIZATE DE PRELUCRARE A ROȚILOR DINȚATE REPREZENTATIVE A GRUPELOR DE PIESE

Succesiunea tuturor operațiilor din procesul tehnologic optim tipizat de prelucrare a piesei reprezentative (v. tab. 15.1.1) este următoarea: 1 — strunjirea suprafeței exterioare pe porțiunea liberă din universal; strunjirea suprafeței frontale a coroanei și a degajării frontale; adîncirea alezajului, executarea teșiturii interioare și lamarea suprafeței frontale a butucului (suprafața frontală a coroanei este bază de așezare în toate celelalte operații, afară de broșarea alezajului); 2 — strunjirea suprafeței exterioare pe porțiunea liberă din universal; strunjirea suprafețelor frontale; a coroanei și a degajării frontale; adîncirea de finisare a alezajului; executarea teșiturii și lamarea suprafeței frontale a butucului; 3 — broșarea canelurilor, bază de așezare fiind suprafața frontală a butucului; 4 — strunjirea de finisare a suprafeței exterioare și strunjirea de finisare a suprafeței frontale a butucului, alezajul cu caneluri servind drept bază de centrare a piesei, iar suprafața frontală a coroanei bază de așezare; 5 — frezarea danturii cu freză melc, piesa fiind fixată la fel ca în operația 4; 6 — raionarea frontală a danturii, cu același mod de fixare a piesei; 7 — îndepărtarea bavurilor, electrochimic, cu ultrasunete sau în cel mai rău caz manual; spălarea piesei în baie de petrol; 8—honuirea sau șeverui-rea danturii (fixarea ca în operația 6); 9 — spălarea în baie de petrol; 10 — control; 11 — tratament termic; 12 — rodarea danturii; 13— idem operația 9; 14 — control final.

15.3. ANALIZA OPERAȚIILOR PROCESULUI TEHNOLOGIC OPTIM TIPIZAT DE PRELUCRARE A ROȚILOR DINȚATE REPREZENTATIVE A GRUPELOR DE PIESE

După cum se vede din tabelul 15.1.1, operațiile 1 și 2 se execută pe un strung automat vertical cu mai multe scule. Strungul este prevăzut cu două sănii laterale transversale și cu un cap central vertical. Alimentarea, fixarea, desprinderea și evacuarea piesei prelucrate se face automat.

Prelucrarea prin strunjire în aceste două operații se execută cu cuțite armate cu plăcuțe din carburi metalice T14K8, iar adîncitoarele sînt cu dinți armați cu plăcuțe din carburi metalice T5K10. Regimul de așchiere la prelucrările prin strunjire este: $v = 170$ m/min, iar $s = 0{,}68$ mm/rot, iar la adîncire $v = 45$ m/min și $s = 0{,}13$ mm/rot.

Broșarea canelurilor (operația 3) se execută pe un automat de broșat vertical.

Operația 4 se execută, de asemenea, pe un strung automat vertical cu două sănii laterale transversale. Bază de centrare a piesei servește alezajul cu caneluri, iar bază de așezare suprafața frontală a coroanei. Acest mod de fixare a piesei se păstrează în toate celelalte operații care urmează în continuare.

Frezarea danturii se face pe un automat de frezat vertical cu rigiditate ridicată, lucru care permite prelucrarea cu un regim de așchiere foarte intens (v pînă la 250 m/min și avansul pînă la 8—10 mm/rot). Mașina este prevăzută cu un mecanism de realizare și a unui avans axial al frezei melc, realizîndu-se astfel danturarea în diagonală.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.1.2

Procesul tehnologic optim tipizat pentru piesa reprezentativă (figura 15.1.1)

Nr. op.	Nr. fază	Denumire suprafață	Cod supraf.	Denumire operație [fază]	Cod prelucr.	Denumire utilaj	Cod utilaj	Cod sculă	Cod dispoz.	Cod verific.	R
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
01	01	cilindrică interioară	1162	lărgire	3103	strung revolver	4050233	2300	7100	6500	25
01	02	cilindrică interioară	2261	strunjire	3103	strung revolver	4050233	2100	7100	8500	25
01	03	cilindrică interioară	1162	strunjire	3103	strung revolver	4050233	2100	7100	8500	25
02	01	cilindrică interioară	1161	broșare	3303	mașină broșat	4051003	2400	7500	8100	3,2
02	02	canal de pană	1511	broșare	3303	mașină broșat	4051003	2400	7500	8100	25
		(canelură interioară)	(1751)	broșare	(3303)	mașină broșat	4051003	2400	7500	8100	6,3
03	01	—	—	—	4400	—	—	—	—	—	—
04	01	—	—	—	4101	—	—	—	—	—	—
05	01	cilindrică exterioară	0231	strunjire	3003	str. semiautomat	4050250	2100	7100	8500	25
05	02	cilindrică exterioară	0262	strunjire	3603	str. semiautomat	4050250	2100	7100	8500	25
05	03	frontală exterioară	2261	strunjire	3603	str. semiautomat	4050250	2100	7100	8500	12,5
05	04	frontală exterioară	2262	strunjire	3603	str. semiautomat	4050250	2100	7100	8500	25
05	05	frontală exterioară	2223	strunjire	3603	str. semiautomat	4050250	2100	7100	8500	25
05	06	frontală exterioară	2265	strunjire	3603	str. semiautomat	4050250	2100	7100	8500	25
06	01	cilindrică exterioară	0221	strunjire	3603	str. semiautomat	4050250	2100	7100	8500	12,5
06	02	cilindrică exterioară	0262	strunjire	3603	str. semiautomat	4050250	2100	7100	8500	12,5
06	03	frontală exterioară	2261	strunjire	3603	str. semiautomat	4050250	2100	7100	8500	6,3

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.1.2 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
06	04	frontală exterioară	2262	strunjire	3603	str. semiautomat	4050250	2100	7100	8500	12,5
06	05	frontală exterioară	2264	strunjire	3603	str. semiautomat	4050250	2100	7100	8500	12,5
06	06	frontală exterioară	2265	strunjire	3603	str. semiautomat	4050250	2100	7100	8500	12,5
06	07	teșitură exterioară	0411	strunjire	3603	str. semiautomat	4050250	2100	7100	—	25
06	08	teșitură exterioară	0412	strunjire	3603	str. semiautimat	4050250	2100	7100	—	25
07	01	frontală exterioară	0261	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	8500	6,3
07	02	teșitură interioară	1311	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	8000	12,5
07	03	frontală exterioară	2265	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	8500	6,3
07	04	teșitură interioară	1312	strunjire	3101	strung normal	5040202	2100	7100	8000	12,5
07	05	teșitură exterioară	0413	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	8000	25
08	01	degajare exterioară	0511	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	8100	6,3
09	01	frontală exterioară	2223	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	8500	6,3
09	02	frontală exterioară	2264	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	8500	6,3
10	01	gaură oarecare	2012	găurire	3402	mașină de găurit	4050112	2300	7300	8100	12,5
11	01	gaură conică	1211		3402	mașină de găurit	4050112	2600	7300	8200	12,5
12	01	gaură oarecare	2011	găurire	3401	mașină de găurit	4050102	2300	7300	8100	12,5
13	01	cilindrică interioară	1132	strunjire	3101	strung normal	4050202	2100	7100	8500	3,2
14	01	—	—	control intern	4810	—	—	—	—	—	—
15	01	frontală exterioară	2264	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7600	8180	3,2
16	01	frontală exterioară	2265	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7600	8180	3,2

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.1.2 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	01	frontală exterioară	2261	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7600	8180	3,2
18	01	frontală exterioară	2262	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7600	8180	3,2
19	01	frontală exterioară	2261	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7600	8100	3,2
20	01	cilindrică exterioară	0262	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7600	8100	3,2
21	01	dantură exterioară	0761	danturare	3210	mașină frezat dantură	4050903	2500	7500	8184	25
22	01	dantură exterioară	0761	danturare	3210	mașină frezat dantură	4050903	2500	7500	8184	6,3
23	01	dantură exterioară	0412	raionare dant.	3211	mașină raionat dantură	4050922	2500	7500	8500	6,3
24	01	dantură exterioară	0761	debavurare	3212	mașină de bavurat dant	405099	2500	7500	—	—
25	01	dantură exterioară	0761	control	4810	—	—	—	—	—	—
26	01	canelură exterioară	0861	canelare	3208	mașină frezat canelură	4050560	2500	7500	8184	6,3
27	01	canelură exterioară	0861	debavurare	4101	—	—	—	—	—	—
28	01	dantură exterioară	0761	șevăruire	3507	mașină de șevăruit	4050940	2500	7500	8184	3,2
29	01	dantură exterioară	0761	ajustare	4101	—	—	—	—	—	—
30	01	—	—	spălare, decap.	4400	—	—	—	—	—	—
31	01	—	—	control	4810	—	—	—	—	—	—
32	01	—	—	trat. termic	1500	—	—	—	—	—	—
33	01	dantură exterioară	0761	honuire dant.	3510	mașină de honuit	4051410	2700	7500	8100	0,4
34	01	dantură exterioară	0761	control	4810	—	—	—	—		—

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.1.2 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
35	01	canelură exterioară	0861	rectific. can.	3506	mașină rectificat caneluri	4051201	2700	7600	8100	0,8
36	01	cilindrică interioară	1161	rectific. int.	3503	mașină rectificat interior	4051211	2700	7600	8100	0,8
37	01	frontală exterioară	2261	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7600	8100	0,8
38	01	frontală exterioară	2262	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7600	8100	0,8
39	01	frontală exterioară	2264	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7600	8100	0,8
40	01	cilindrică exterioară	0262	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7600	8100	0,8
41	01	frontală exterioară	2265	rectificare	3502	mașină de rectificat	4051211	2700	7600	8100	0,8
42	01	—	—	spălare		—	—	—	—	—	—
				decapare	4400						
43	01	—	—	control		—	—	—	—	—	—
				final	4810						
44	01	—	—	control		—	—	—	—	—	—
				zgomot	4809						

Scanned with OKEN Scanner

Raionarea danturii se efectuează cu o freză deget pe un automat special de raionat dantura.

Honuirea (vezi paragraful 15.3.6.3) sau finisarea prin șerveruire se execută pe o mașină de honuit dantură sau pe o mașină de șeveruit, cu alimentare automată. Pe automatul de șeveruit se poate face și șeveruirea în diagonală (vezi paragraful 15.3.6.1).

Ritmul liniei tehnologice respective este de 120 s și este deservită de trei muncitori, dintre care unul este reglor principal. Linia lucrează în 2 schimburi și are o producție de 120 000 buc. roți dințate pe an (10 tipodimensiuni de roți dințate cilindrice cu o coroană).

Prelucrarea roților dințate pe linii tehnologice automate reduce costul acestora cu 15—20% și mărește productivitatea de 2—4 ori față de prelucrarea pe linii tehnologice obișnuite.

15.3.1. FREZAREA DANTURII ROȚILOR DINȚATE CILINDRICE CU DINȚI DREPȚI ȘI ÎNCLINAȚI PRIN RULARE

În producția de serie mare și de masă danturarea roților dințate cilindrice cu dinți drepți și înclinați se face prin rulare cu freze melc, pe mașini speciale de frezat.

Danturarea după această metodă este foarte productivă. Ea asigură obținerea unei precizii dimensionale și geometrice ridicate, precum și a unei netezimi a suprafeței prelucrate ridicate.

Schema principială de frezare a danturii prin rulare este prezentată în figura 15.3.1. Mișcarea de rotație a frezei melc *2* și cea de rotație a roții dințate care se danturează *4* sînt sincronizate prin intermediul lanțului cinematic *5* de rulare, care primește mișcarea de la angrenajul melc *6* — roată melcată *7*. Între mișcarea de rotație a roții melcate *7* (care transmite mișcarea sa de rotație mesei rotative *3* a mașinii pe care este fixată roata dințată *4* pentru danturare și melcului *6*, denumit melc de divizare) și cea a frezei melc *2* trebuie să fie o sincronizare perfectă. Această mișcare este identică cu cea de angrenare dintre o roată dințată și un șurub melc. Sincronizarea celor două mișcări principale este asigurată de lanțul cinematic *5*. Freza melc în afară de mișcarea de rotație în jurul axei sale mai execută și o mișcare de avans vertical, pentru a se realiza danturarea pe întreaga lungime a dinților roții. Toate aceste trei mișcări duc la formarea profilului flancurilor dinților și al golului dintre ei. Profilul flancurilor dinților este format dintr-o familie de urme ale muchiilor așchietoare a dinților frezei melc.

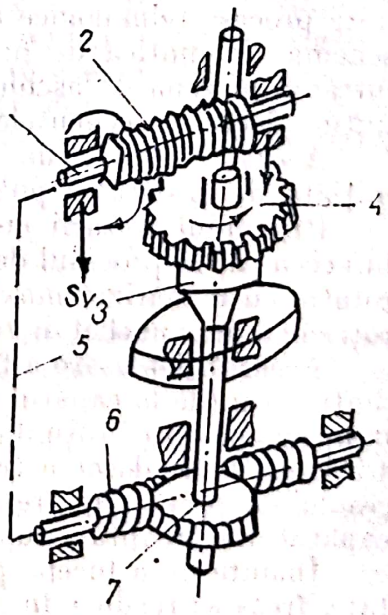


Fig. 15.3.1. Schema principală de frezare a danturii pin rulare.

Mașinile moderne de danturat prin rulare cu freze melc au în plus încă o mișcare de avans a frezei și anume în lungul axei de rotație a acesteia, astfel că rezultanta celor două mișcări de avans a frezei este o mișcare diagonală în lungul coroanei dințate a roții care se danturează. Frezarea „în diagonală" prin rulare este prezentată în figura 15.3.2.

Trebuie să subliniem faptul că nu orice roată dințată poate fi danturată prin rulare cu freză melc. De aceea, inginerul tehnolog trebuie să rezolve în primul rînd problema legată de aplicabilitatea acestei metode. Apoi în funcție de dimensiunile roților dințate, de precizia danturii, de mărimea lotului, se alege tipul frezei melc și al mașinii de frezat. De asemenea, trebuie să se efectueze toate calculele legate de reglarea mașinii, regimul de așchiere și precizia de prelucrare, pentru a asigura costul minim și calitatea impusă.

Generarea danturii prin frezare cu frezele melc fiind o metodă care se utilizează cu exclusivitate în producția de serie mare și masă, trebuie să se cunoască toți factorii care influențează asupra preciziei de prelucrare a danturii după această metodă, pentru a se asigura obținerea preciziei impusă pe desenul de execuție la toate piesele din lot.

Erorile de prelucrare a danturii apar datorită abaterilor de la premisele teoretice care stau la baza generării danturii prin rulare cu freze melc, abateri care pot fi provocate de: erorile frezei melc, (care la rîndul lor pot fi erori constructive, geometrice, de reascuțire incorectă, uzură, deformație termică etc.); erorile semifabricatului, respectiv a roții dințate care se prelucrează; cinematica mașinii de danturat; rigiditatea dinamică a sistemului tehnologic *MUPS*; regimul de așchiere; condițiile de răcire-ungere în timpul procesului de așchiere; reglarea incorectă a mașinii, respectiv fixarea incorectă a frezei melc pe axul port-freză, fixarea incorectă a piesei, poziția incorectă a frezei față de piesă etc.

15.3.2. FREZAREA „ÎN DIAGONALĂ" A DANTURII ROȚILOR DINȚATE CILINDRICE CU DINȚI DREPȚI ȘI ÎNCLINAȚI

Un mijloc foarte eficient de mărire a productivității la prelucrarea danturii roților dințate este mărirea durabilității muchiilor așchietoare ale dinților sculei cu care se face prelucrarea.

Mărirea durabilității muchiilor așchietoare ale sculelor se poate realiza fie prin utilizarea oțelurilor de scule cu calități așchietoare ridicate, prin îmbunătățirea geometriei părții așchietoare a sculelor, fie prin asigurarea schimbării continue a muchiilor așchietoare a sculelor în zona de așchiere. În anumite procese tehnologice acest ultim lucru se realizează prin introducerea în schema cinematică de prelucrare a unei mișcări suplimentare care asigură intrarea în zona de așchiere a muchiilor așchietoare neuzate sau uzate mai puțin decît precedentele.

Această metodă de prelucrare se numește *frezarea cu două avansuri* inițiată de Institutul politehnic *S. M. Kirov* din Ural.

Principiul frezării cu două avansuri a danturii roților dințate constă în aceea că, în procesul de așchiere freza se deplasează în lungul axei sale de rotație cu o mărime maximum posibilă în așa fel, încît la prelucrarea unei roți sau a unui pachet de roți dințate să ia parte toți dinții frezei melc.

Această deplasare a frezei melc în lungul axei sale începe după ce primii dinți ai săi (de la capătul din stînga), au intrat complet în așchie și profilează în întregime dinții roții dințate (adică după ce prelucrarea a intrat în „regimul staționar"). Deplasarea trebuie să aibă loc în așa fel încît spre sfîrșitul procesului de prelucrare freza melc să așchieze numai cu ultimii săi dinți (de la capătul din dreapta), după cum se vede în figura 15.3.2.

Înainte de a începe prelucrarea următoarei roți sau pachet de roți dințate, freza se readuce în poziția sa inițială și ciclul se repetă.

La prelucrarea după un astfel de ciclu toți dinții frezei melcate se uzează uniform, fapt care mărește mult durabilitatea muchiilor așchietare (perioada

Scanned with OKEN Scanner

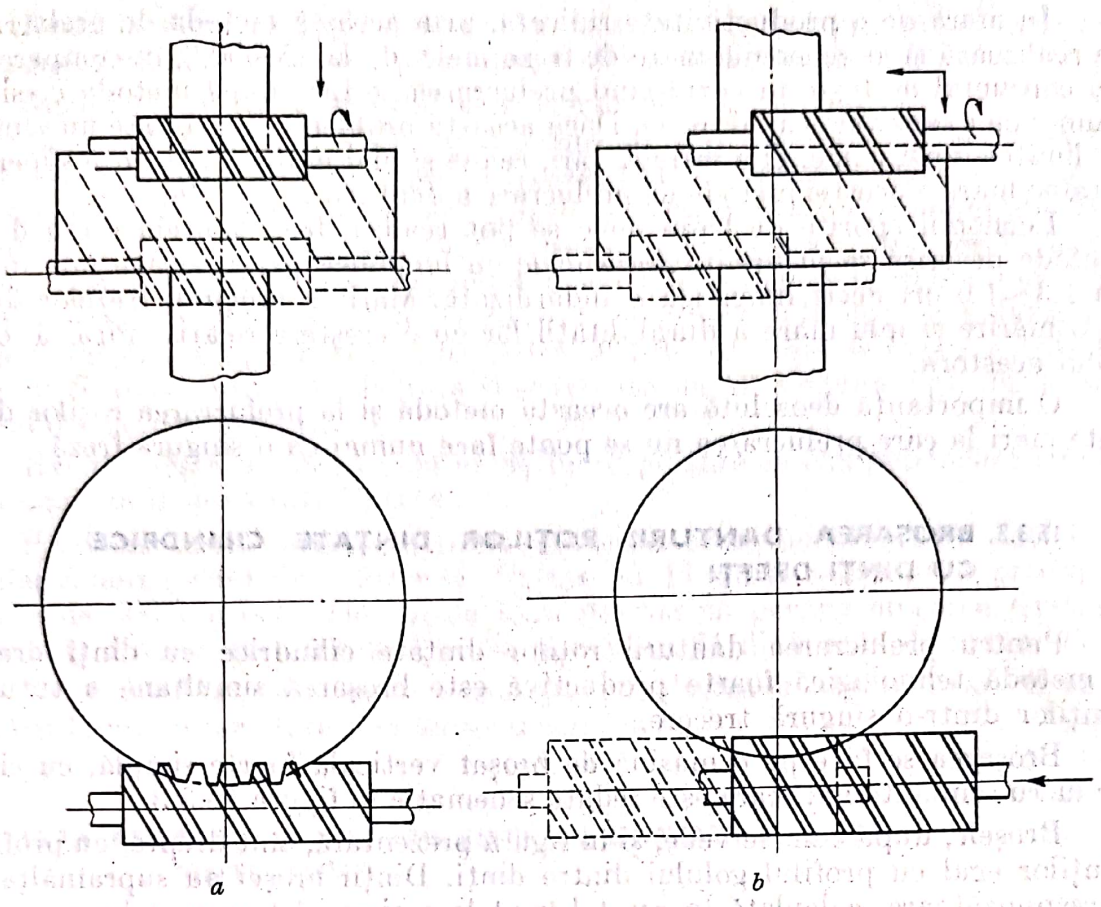


Fig. 15.3.2. Reprezentarea schematică a frezării danturii prin rulare: *a* — numai cu avans pe verticală; *b* — în diagonală.

între două reascuțiri ale frezei), în comparație cu cazul în care în timpul prelucrării freza melc nu se deplasează în lungul axei sale și se uzează numai dinții din regiunea de mijloc a frezei, iar cei dinspre capete rămîn intacți.

Eficacitatea acestei metode de prelucrare a danturii roților dințate cu două avansuri în comparație cu metoda obișnuită numai cu avans vertical este dată de coeficientul q de productivitate. Acest coeficient este egal cu raportul dintre numărul de roți dințate prelucrate după metoda cu două avansuri n_{da} și după metoda clasică n_{av} (cu avans vertical) în perioada între două reascuțiri:

$$q = \frac{n_{da}}{n_{ar}}.$$

De exemplu la prelucrarea unor roți dințate din oțel 20 XH4A cu $Z = 30$, $m = 3$ mm, lățimea $B = 25$ mm, în pachete din două roți, cu o freză melc standardizată din oțel rapid RP9 și cu lungimea părții așchietoare $L_{pa} = 55$ mm.

Pentru ambele metode de prelucrare, s-a ales valoarea uzurii admisibilă pe suprafața de așezare egală cu 0,2 mm.

După metoda de prelucrare cu două avansuri s-au prelucrat 58 roți dințate, iar după metoda clasică numai 10 roți dințate.

Coeficientul de productivitate în acest caz este egal cu:

$$q = \frac{n_{da}}{n_{av}} = \frac{58}{10} = 5{,}8.$$

În afară de o productivitate ridicată, prin această metodă de prelucrare se realizează și o economie mare de freze melc, de la 35∼50% în comparație cu consumul de freze în cazul cînd prelucrarea se face după metoda clasică, numai cu avans vertical al frezei. Dacă această problemă se privește nu numai în limitele unei uzine, ci a întregii țări, reiese și mai mult în evidență superioritatea mare a acestei metode de prelucrare a danturii roților dințate.

Economii sporite de freze melc se pot realiza dacă la prelucrarea după metoda descrisă se utilizează freze melc cu lungimea părții active mai mare cu 1,3∼1,6 ori decît lungimea standardizată. Mărirea lungimii frezelor duce la o mărire și mai mare a durabilității lor cu o creștere relativ mică a costului acestora.

O importanță deosebită are această metodă și la prelucrarea roților dințate mari la care prelucrarea nu se poate face numai cu o singură freză.

15.3.3. BROȘAREA DANTURII ROȚILOR DINȚATE CILINDRICE CU DINȚI DREPȚI

Pentru prelucrarea danturii roților dințate cilindrice cu dinți drepți o metodă tehnologică foarte productivă este broșarea simultană a tuturor dinților dintr-o singură trecere.

Broșarea se face pe o mașină de broșat verticală foarte simplă, cu ciclu de lucru semiautomat, care este redată schematic în figura 15.3.3.

Broșele, după cum se vede, și în figura prezentată, sînt drepte, cu profilul dinților egal cu profilul golului dintre dinți. Dinții broșei au suprainălțarea corespunzătoare, calculată în așa fel încît la o singură trecere a broșei să se realizeze golul dintre dinții roții dințate. Profilul ultimilor dinți ai broșei trebuie să fie rectificat foarte precis, întrucît de precizia lor depinde precizia danturii roții dințate. Fiecare gol dintre doi dinți se prelucrează cu cîte o broșă. Cozile broșelor sînt fixate într-o coroană M, iar capetele lor sînt ghidate în niște caneluri din placa P de ghidare.

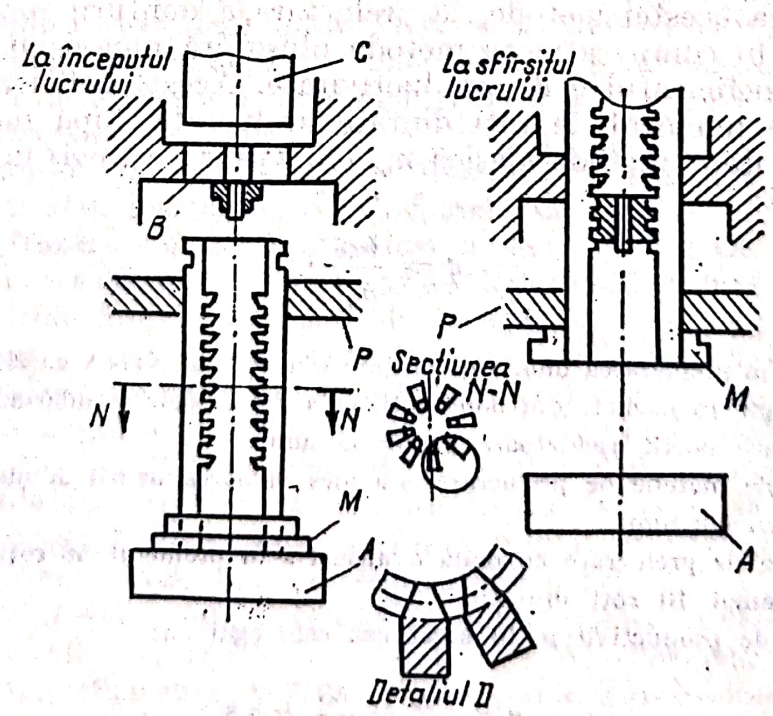


Fig. 15.3.3. Schema de principiu a broșării cilindrice cu dinți drepți.

Scanned with OKEN Scanner

Precizia danturii roţii dinţate depinde într-o mare măsură de precizia dispunerii cozilor în coroana M şi a capetelor broşelor în placa P.

Modul de lucru al maşinii este următorul:

Berbecul A ridică coroana M şi o dată cu ea şi broşele. Capetele acestora trec prin dispozitivul B în care se fixează roata dinţată a cărei dantură se prelucrează pînă cînd acestea sînt prinse în dispozitivul de prindere din berbecul C. În acest moment berbecul C începe să se deplaseze în sus, iar berbecul A să se reîntoarcă în poziţia iniţială. Aşa începe procesul de broşare a danturii. Cînd broşele au ieşit din aşchie, berbecul C se opreşte şi începe să se deplaseze în jos pînă cînd coroana M a atins berbecul A. După aceea se scoate din dispozitivul B roata dinţată prelucrată şi se fixează un alt semifabricat, după care ciclul de lucru se repetă.

Există maşini cu două posturi de lucru pe care se confecţionează simultan dantura la două roţi dinţate.

Productivitatea acestei metode moderne este foarte mare. Astfel la confecţionarea danturii unor roţi dinţate cu 11 dinţi s-a atins o productivitate de 400 buc/oră. Timpul de bază de maşină pentru broşarea danturii unei roţi dinţate cu diametrul de 95 mm şi cu 24 dinţi este de numai 27 s.

După cum se vede, această metodă tehnologică înaintată poate fi aplicată şi la noi în ţară fără nici un fel de greutate.

15.3.4. BROŞAREA DANTURII ROŢILOR DINŢATE CONICE CU DINŢI DREPŢI

La Uzinele de autocamioane din Braşov nu de mult timp prelucrarea danturii roţilor dinţate conice cu dinţi drepţi din cutia diferenţialului se face prin broşare cu o broşă circulară.

Scula cu care se face broşarea este o broşă circulară asemănătoare cu o freză circulară.

Principiul acestei metode înaintate de prelucrare a danturii constă în următoarele: la o singură rotaţie a broşei se prelucrează complet golul dintre doi dinţi. Broşa în timpul prelucrării execută o mişcare de rotaţie în jurul axei sale şi o mişcare de avans longitudinală pînă la terminarea prelucrării, după care continuînd mişcarea de rotaţie se retrage în poziţia iniţială şi reîncepe prelucrarea. Pentru a fi posibil acest ciclu de lucru, broşa trebuie să aibă o construcţie specială. După cum se vede în figura 15.3.4 broşa circulară are pe periferia discului, fixată foarte rigid 15 segmente, fiecare cu cîte 5 dinţi-cuţite detalonaţi. Aşchierea începe în momentul cînd centrul broşei se află în punctul C' şi primul dinte-cuţit de degroşare din sectorul E atinge coroana roţii dinţate din partea cu diametrul mic. În prealabil a fost cuplat avansul longitudinal al saniei port-broşă şi mişcarea de rotaţie a broşei. Dinţii broşei sînt dispuşi pe periferia corpului broşei şi vîrfurile lor descriu o spirală arhimedică prin care se realizează supraînălţarea. La început intră în aşchiere dinţii-cuţit ai sectorului dinţat E' cu care se face degroşarea. Broşarea de degroşare se realizează în două etape. În cursul primei etape sania port-broşe se deplasează cu un avans constant, pînă cînd centrul broşei a ajuns din C' în C. În acest timp au aşchiat primii 18 dinţi-cuţit din sectorul E' cu vîrfurile dispuse pe spirala lui Arhimede, după care în continuare au aşchiat dinţii-cuţit de la 19—47 care au toţi aceeaşi înălţime. În perioada cît aşchiază dinţii-cuţit 19—47, sania port-broşă stă pe loc.

Scanned with OKEN Scanner

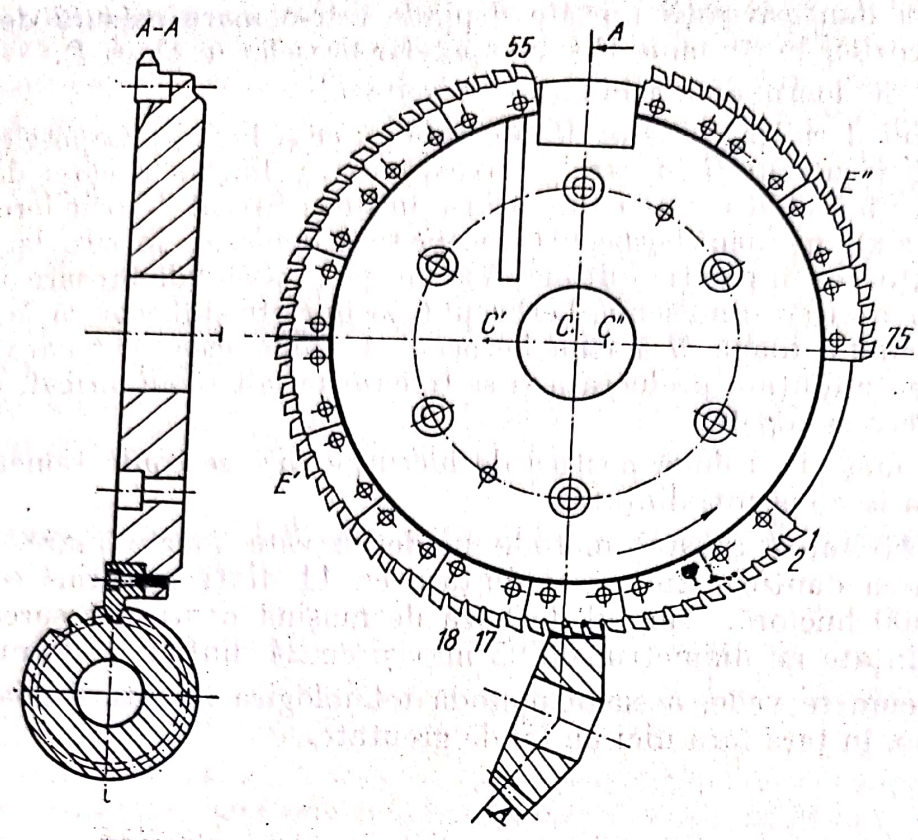


Fig. 15.3.4. Schema de principiu a broșării cu broșă circulară a danturii roților dințate conice cu dinți drepți.

Înainte de a ajunge centrul broșei în punctul C, mai așchiază în continuare și ultimii dinți-cuțit din sectorul E' și anume dinții-cuțit de la 48—55 care fac o așchiere de semifinisare. Acești dinți-cuțit au supraînălțare, vîrfurile lor fiind dispuse pe o spirală arhimedică.

După ce a ieșit din așchie ultimul dinte-cuțit de semifinisare din sectorul E' (dintele 55) broșa continuă să se rotească în același sens cu aceeași viteză unghiulară constantă. Înainte însă de a intra în așchie primul dinte-cuțit de finisare din sectorul E'' (dintele-cuțit 56), are loc inversarea sensului de mișcare al saniei port-broșă. În timp ce sania port-broșă se mișcă cu avans constant și centrul broșei se deplasează din C'' înspre C', are loc broșarea de finisare realizată de cei 20 de dinți-cuțit din sectorul E'' al broșei.

Din figura 15.3.4 se vede că între ultimul dinte-cuțit de finisare și primul de degroșare este un sector liber. În timp ce broșa se rotește cu aceeași viteză unghiulară constantă, în acest sector are loc divizarea automată, roata dințată se rotește cu un pas și ciclul de broșare se repetă.

În figura 15.3.5, sînt redate cîteva faze din timpul broșării unui gol între dinți și anume: în figura 15.3.5 *a* este reprezentată o secțiune transversală peste golul broșat la adîncime totală. Se vede că fiecare așchie îndepărtată are lățimea egală cu lățimea golului în secțiunea corespunzătoare. În figura 15.3.5, *b* este reprezentată o secțiune axială printre cei doi dinți în care se vede că dinții au fost degroșați pe toată lungimea lor. În porțiunea deasupra liniei curbe M_1M_2 profilul suprafeței laterale a dinților este corect, fiind așchiat de dinții-cuțit 1—47. Profilul corect de sub linie M_1M_2 este realizat de dinții-cuțit 48—55. În figura 15.3.5, *c* sînt redate trei faze intermediare din broșarea de degroșare.

Scanned with OKEN Scanner

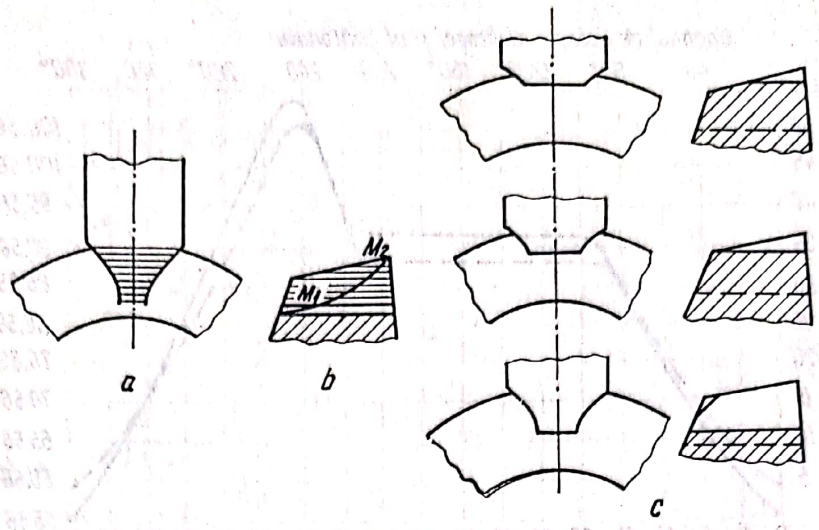


Fig. 15.3.5. Faze din timpul broșării unui gol dintre doi dinți.

Mișcarea dinților-cuțit și a broșei față de roata dințată care se broșează, precum și mișcarea saniei port-broșă este reprezentată grafic în figura 15.3.6. Curbele au fost trasate pentru broșarea a două roți dințate conice cu $z_1 = 20$; $z_2 = 11$; $m = 5$ mm; $h = 10$ mm și $l = 20$ mm.

Întreg ciclul de lucru pentru broșarea unui gol între doi dinți ai roții dințate cu modulul de 5 mm durează 3,6—4,2 *s*. Timpul total de lucru pentru broșarea danturii, de exemplu a roții dințate cu $z = 11$ este de 40—50 secunde.

La roțile dințate conice cu dinți drepți în evolventă, profilul dinților și al golului dintre doi dinți se schimbă de la partea cu diametrul mic spre partea cu diametrul mare al roții dințate. Întrucît, după cum s-a văzut, prelucrarea completă a unui gol între doi dinți se realizează la o singură rotație a broșei, rezultă că la fiecare dinte-cuțit atît de degroșare cît și de finisare prelucrează o anumită porțiune din suprafața laterală profilată a golului dinților. Acest lucru înseamnă că fiecare dinte-cuțit al broșei trebuie să aibă un profil special, corespunzător profilului din secțiunea respectivă. O broșă cu astfel de dinți-cuțit ar fi foarte dificil de realizat. De aceea, pentru a se ușura executarea profilului dinților-cuțit ai broșei, se schimbă profilul în evolventă al dinților roții dințate cu un profil circular. Pentru a se ușura și mai mult realizarea profilului dinților-cuțit, razele profilelor circulare la toți dinții broșei se iau egale, însă poziția centrului razelor este diferită, în funcție de variația profilului suprafețelor laterale ale dinților roții dințate.

Dat fiind faptul că profilul dinților-cuțit ai broșei este același, ei pot fi ușor prelucrați cu aceeași piatră de rectificat.

Aplicarea procedeului broșării circulare la danturarea roților dințate conice cu dinți drepți oferă numeroase avantaje: simplifică procesul tehnologic de danturare al roților dințate, precum și schema cinematică a mașinii-unelte. La danturarea prin broșare cu broșă circulară se elimină operația de degroșare, care la danturarea obișnuită se face pe mașini de frezat separate, eliminînd în felul acesta timpul auxiliar necesar pentru transportul roții dințate degroșate la mașina de frezat pentru finisare, precum și alți timpi auxiliari.

În urma unei analize sumare a efectului economic pe care îl aduce aplicarea acestei metode tehnologice înaintate de danturare numai la Uzinele de autocamioane Brașov pentru danturarea roților dințate ale diferențialului, s-a constatat că se obține o productivitate a muncii de aproximativ opt ori mai mare față de procesul actual, o înlocuire a trei mașini de frezat și

Scanned with OKEN Scanner

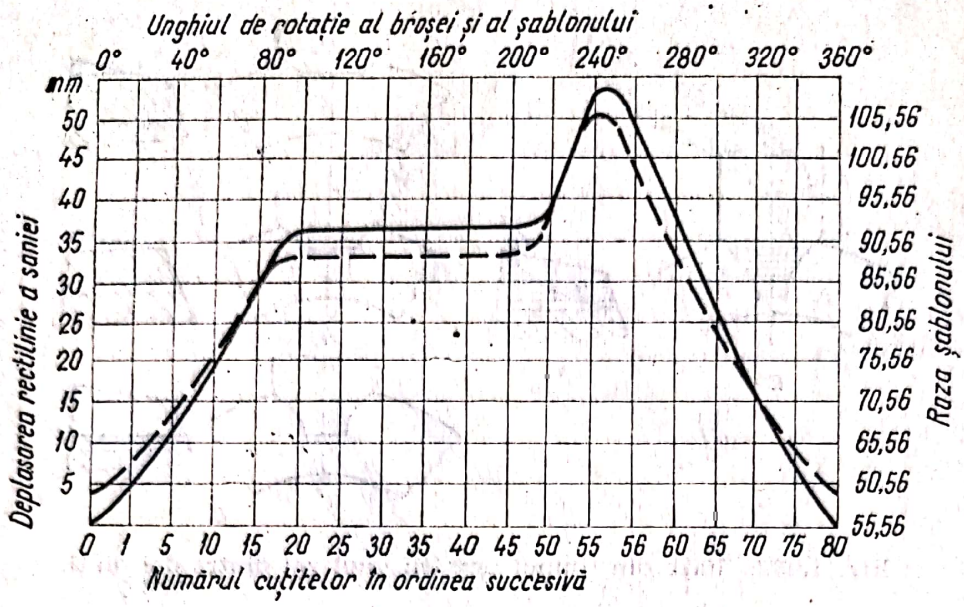


Fig. 15.3.6. Reprezentarea grafică a mișcării dinților-cuțit ai broșei față de roata dințată care se danturează, precum și a mișcării saniei port-broșă.

a opt mașini de rabotat dantură printr-o singură mașină de broșat cu broșă circulară, al cărei cost este de aproximativ 1 100 000 lei, o reducere a suprafeței productive cu 39 m², o economie de manoperă de 175 000 lei pe an, o reducere a consumului de energie electrică cu 106 000 kWh/an.

După această metodă de broșare cu broșa circulară se poate face danturarea și a roților dințate cilindrice cu dinți drepți și înclinați.

15.3.5. PRELUCRAREA DANTURII ROȚILOR DINȚATE CILINDRICE CU DINȚI DREPȚI PRIN DEFORMARE PLASTICĂ LA RECE

Unul din procedeele cele mai neproductive de prelucrare prin așchiere este cel de prelucrare prin *frezare a danturii* roților dințate. Așa se explică faptul, că pe liniile tehnologice de prelucrare a roților dințate, pentru a se evita strangularea la operația de danturare, sînt prevăzute *cîteva* mașini de frezat dantură.

Un procedeu modern de prelucrare a danturii și a canelurilor exterioare este cel de prelucrare *prin deformare plastică la rece prin ciocănire*. Procedeul este de aproximativ 10 ori mai productiv decît cel clasic prin frezare.

Principiul procedeului. Piesa pe care urmează să se prelucreze dantura este fixată între vîrfurile mașinii. Ea execută o mișcare de rotație intermitentă de divizare și o mișcare de avans longitudinală (la sfîrșitul fiecărei mișcări complete de rotație).

Cele două role-sculă, așa cum este reprezentat și în figura 15.3.7 execută o mișcare radială rectilinie alternativă cu o frecvență de aproximativ 1200 cd/min sau o mișcare de rotație fiind fixate excentric în doi arbori simetrici care se rotesc cu o rotație de 1200—1500 rot/min lovind piesa, pe care se imprimă profilul rolelor, egal cu profilul golului dintre doi dinți.

Determinarea profilului sculelor se poate face prin două metode: — metoda grafică și — metoda analitică care este cea mai laborioasă însă și cea mai precisă.

Scanned with OKEN Scanner

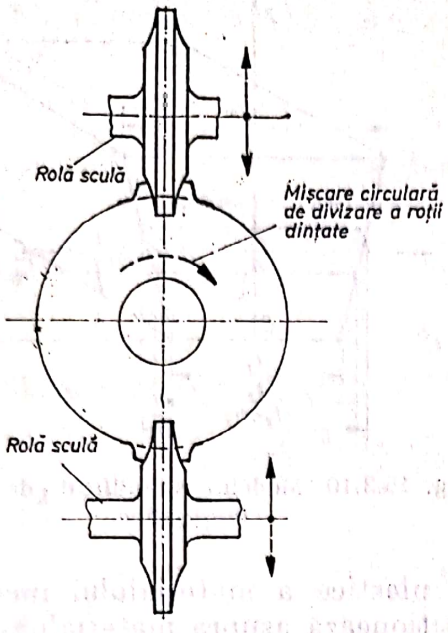


Fig. 15.3.7. Schema de principiu a procedeului.

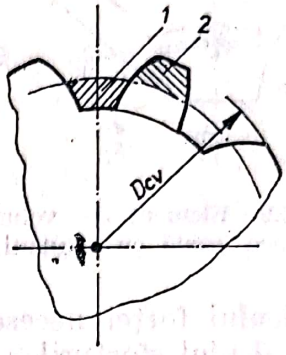


Fig. 15.3.8. Detaliu.

Deoarece prin acest procedeu profilul dinților roții dințate se realizează fără îndepărtare de așchii, ci prin „deplasarea" sau „curgerea" materialului dintr-un loc în altul, așa cum se vede în figura 15.3.8, adică din zonele *1* și *2*, pentru a se forma atît golul dintre doi dinți cît și dintele propriu-zis.

Pentru a se obține diametrul exterior D_{ext} al roții dințate în limitele cîmpului de toleranță prescris, trebuie să se determine cu precizie ridicată mărimea diametrului „semifabricatului", respectiv a diametrului coroanei roții dințate înainte de danturare. Calculul diametrului respectiv se face utilizînd *legea constanței volumului*.

Conform acestei legi volumul piesei dinainte de danturare trebuie să fie teoretic egal cu volumul roții dințate după danturare.

În urma calculelor efectuate în [40] s-a determinat următoarea relație de calcul a diametrului coroanei roții înainte de danturare:

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi}\left(\frac{\pi D_{cv}^2}{4} - zA\right)}, \text{ [mm]}, \qquad (15.3.1)$$

în care: A reprezintă aria dintre doi dinți consecutivi; z — numărul de dinți ai roții dințate; D_{cv} — diametrul cercului de vîrf al roții dințate (dat în desenul de execuție al piesei).

Calculul forțelor de deformare plastică a materialului. Pentru a fi posibilă realizarea danturii după acest procedeu este necesar să se calculeze *mărimea forței necesare deformării plastice a materialului*, pentru a se cunoaște puterea motorului electric principal și pentru dimensionarea diverselor organe ale mașinii-unelte.

Pentru calculul forței necesare pentru a obliga materialul să se deplaseze din zona *1* în zona *2* (fig. 15.3.8) trebuie să se admită ipoteza, că materialul din zona *1* se deplasează numai în direcție radială (este împiedicat să se deplaseze și în direcție axială).

Scanned with OKEN Scanner

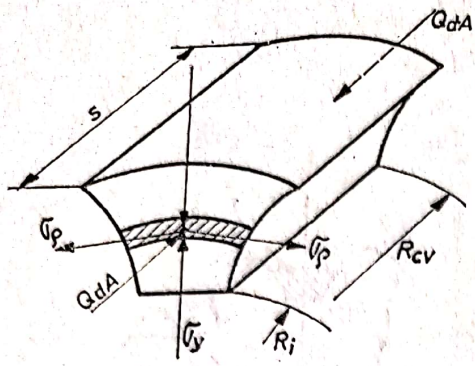


Fig. 15.3.9. Element de volum cu lungimea egală cu avansul s.

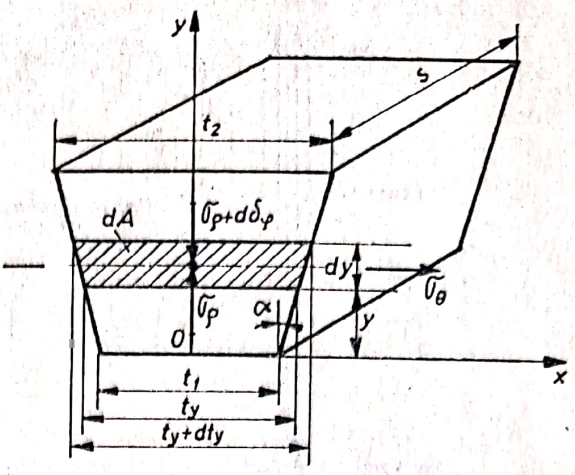


Fig. 15.3.10. Modelul simplificat de calcul a tensiunilor.

Calculul forței necesare deformării plastice a materialului începe cu:

—calculul eforturilor unitare care acționează asupra materialului dintre doi dinți consecutivi pe o lungime egală cu avansul axial al sculei. Pentru acest calcul se folosește metoda secțiunilor [16].

În acest scop se secționează un element de volum dintre doi dinți cu lungimea egală cu avansul s al sculei asupra căruia acționează tensiunile unitare (fig. 15.3.9).

Se consideră că forțele Q axiale (care împiedică materialul să curgă axial) se echilibrează reciproc și se ajunge la o stare plană de tensiune.

Pentru simplificarea calculelor se evită construirea modelului real de calcul și se construiește un model simplificat, în care golul dintre doi dinți se consideră a avea o secțiune trapezoidală (fig. 15.3.10) cu baza mare egală cu lungimea golului pe cercul de cap, t_2 și baza mică t_1 egală cu lungimea golului pe cercul de picior.

Asupra elementului cu arie dA situat la distanța y de axa OX a sistemului rectangular de axe OX, OY și cu lățimea dy, acționează tensiuni radiale σ_ρ, $\sigma_\rho + d\sigma_\rho$, eforturi care cresc pe măsură ce crește y, și tensiuni tangențiale.

Ecuațiile de echilibru după axa OY sînt:

$$(\sigma_\rho + d\sigma_\rho)(t_y + dt_y)s - \sigma_\rho t_y s - 2\sigma_\theta \sin\alpha \frac{dy}{\cos\alpha} \cdot s = 0 \qquad (15.3.2)$$

sau

$$\sigma_\rho t_y + d\delta_\rho + t_y + \sigma_\rho dt_y + d\sigma_\rho dt_y - \sigma_\rho t_y - 2\sigma_\theta \cdot dy \operatorname{tg}\alpha = 0 \qquad (15.3.3)$$

Dacă se neglijează diferențele finite de ordinul doi, se efectuează simplificările necesare și se ține că (v. fig. 15.3.10)

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{(t_y + dt_y) - t_y}{2} \cdot \frac{1}{dy} = \frac{dt_y}{2dy},$$

relația de mai sus devine:

$$\sigma_\rho dt_y + d\sigma_\rho \cdot t_y - \sigma_\theta \cdot dt_y = 0. \qquad (15.3.4)$$

Dacă se ține seamă că trecerea de la starea elastică la cea plastică se produce atunci cînd efortul unitar tangențial maxim atinge valoarea critică, va-

Scanned with OKEN Scanner

loare egală cu limita de curgere σ_c a materialului respectiv (condiția de plasticitate Tresca-Saint-Venant), pentru cazul studiat, condiția de plasticitate se scrie:

$$\sigma_\theta - \sigma_\rho = 2\sigma_c, \tag{15.3.5}$$

în care σ_θ se ia cu semnul plus deoarece este un efort unitar de întindere, iar σ_ρ cu semnul minus fiind o tensiune unitară de compresiune, după cum se vede și în figura 15.3.10.

Din (15.3.5) rezultă:

$$\sigma_\theta = 2\sigma_c - \sigma_\rho. \tag{15.3.6}$$

Înlocuind relația (15.3.6) în (15.3.4) se obține:

$$\sigma \cdot dt_y + d\sigma_\rho \cdot t_y - 2\sigma_c\, dt_y - \sigma_\rho\, dt_y = 0,$$

sau

$$d\sigma_\rho \cdot t_y = 2\,\sigma_c dt_y,$$

de unde

$$d\sigma_\rho = 2\sigma_c \frac{dt_y}{t_y}. \tag{15.3.7}$$

După integrarea relației (15.3.7) între limitele t_1 și t_2 se obține:

$$\sigma_\rho = 2 \cdot \sigma_c \ln \frac{t_2}{t_1}. \tag{15.3.8}$$

Dacă se înlocuiește expresia analitică a tensiunii unitare σ_ρ în relația (15.3.6) se obține relația analitică de calcul a tensiunii tangențiale:

$$\sigma_\theta = 2\sigma_c\left(1 + \ln \frac{t_2}{t_1}\right). \tag{15.3.9}$$

Avînd cunoscute relațiile de calcul ale tensiunilor radiale σ_ρ (15.3.8) și tangențiale σ_θ (15.3.9) se pot determina ușor forțele corespunzătoare acestor tensiuni F_ρ, respectiv F_θ și anume:

$$\left.\begin{aligned} F_\rho &= \sigma_\rho A_\rho \\ F_\theta &= \sigma_\theta A_\theta \end{aligned}\right\} \tag{15.3.10}$$

Deoarece A_ρ variază de la o valoare minimă $A\rho_{min} = t_1 s$, la o valoare maximă $A\rho_{max} = t_2 s$ (v. fig. 15.3.10), în calcule se ia $A\rho_{max}$ și relațiile de mai sus devin:

$$\left.\begin{aligned} F_{\rho max} &= \sigma_\rho \cdot t_2 s \\ F_\theta &= \sigma_\theta \frac{t_2 - t_1}{2 \sin \alpha} s \end{aligned}\right\} \tag{15.3.11}$$

în care (v. fig. 15.3.10 și 15.3.9)

$$\alpha = \text{arc tg} \frac{t_2 - t_1}{2(R_{cv} - R_i)}. \tag{15.3.12}$$

Scanned with OKEN Scanner

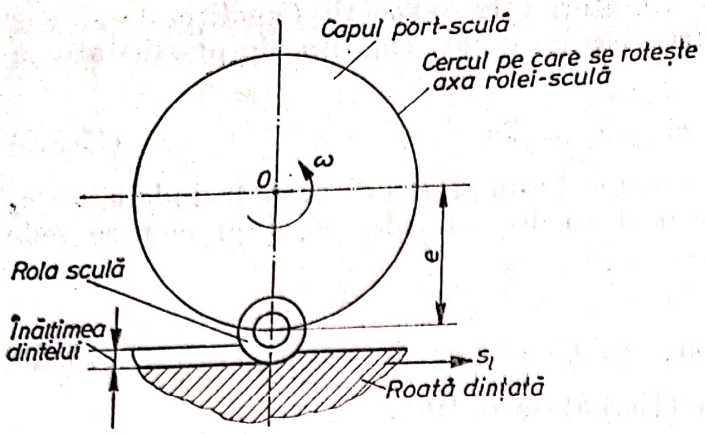


Fig. 15.3.11. Detaliu.

Calculul energiei necesare pentru învingerea rezistenței opusă de material la deformarea plastică. Pentru calculul energiei respective se aplică legea conservării energiei, conform căreia energia cinetică a rolei-sculă, care se rotește în jurul unei axe situată la distanța e de centrul rolei (fig. 15.3.11).

Conform legii conservării energiei, energia cinetică a rolei-sculă în timpul rotirii în jurul axei O, se transformă integral în energie potențială de deformație a materialului (se neglijează energia consumată prin frecare și cea transformată în căldură).

Expresia analitică a energiei cinetice a rolei-sculă în timpul mișcării de rotație cu viteza unghiulară ω, este:

$$E_c = \frac{1}{2} me^2 \cdot \omega^2, \tag{15.3.13}$$

în care: m reprezintă masa capului port-rolă; s — excentricitatea; ω — viteza unghiulară a capului port-sculă.

Energia potențială de deformație a materialului u se compune din:

— energia de „despicare" a materialului pentru realizarea golului dintre doi dinți:

$$u_1 = \frac{Tv}{2}; \tag{15.3.14}$$

— energia de „curgere" a materialului din zona *1* în zona *2* (v. fig. 15.3.8), sau de „rotire" a cristalelor:

$$u_2 = \frac{M_t \cdot \varphi}{2}. \tag{15.3.15}$$

Revenind la relația (15.3.14), $T = F_\rho$, iar v reprezintă deplasarea materialului în direcția forței radiale F_ρ și poate fi scrisă, ca fiind egală cu $v = R_{ep} - R_i$, în care: R_{ep} reprezintă raza suprafeței exterioare a piesei înainte de danturare, iar R_i — raza cercului de picior al roții danturii dințate. Deci:

$$u_1 = \frac{F_\rho}{2}(R_{ep} - R_i). \tag{15.3.16}$$

În relația energiei de curgere a materialului (u_2):

$$M_t = F_0 \cdot R_{ep} \tag{15.3.17}$$

și deci:

$$u_2 = \frac{F_0 R_{ep}}{2} \varphi. \tag{15.3.18}$$

Scanned with OKEN Scanner

φ este unghiul de rotire dintre două secţiuni transversale situate la o distanţă egală cu semipasul piesei care se prelucrează; în cazul studiat unghiul respectiv este un semipas unghiular, a cărui expresie analitică este:

$$\varphi = \frac{2\pi}{2z} = \frac{\pi}{z}. \tag{15.3.19}$$

Deci:

$$u_2 = \frac{F_0 R_{ep}}{2} \cdot \frac{\pi}{z}. \tag{15.3.20}$$

Cunoscînd expresiile analitice ale celor două energii u_1 şi u_2 se poate scrie relaţia de calcul a energiei potenţiale de deformaţie a materialului, ca fiind:

$$u = u_1 + u_2 = \frac{F_\rho}{2}(R_{ep} - R_i) + \frac{F_0 R_{ep}}{2} \cdot \frac{\pi}{z}. \tag{15.3.21}$$

Reamintind că, energia cinetică E_c a capului port-rolă (împreună cu rola-sculă) se transformă integral în energie potenţială de deformaţie a materialului u, se poate scrie că $E_c = u$ şi deci:

$$\frac{1}{2} m\omega^2 e^2 = \frac{F_\rho}{2}(R_{ep} - R_i) + \frac{F_0 R_{ep}}{2} \frac{\pi}{z}. \tag{15.3.22}$$

Din relaţia (15.3.22), dacă se ţine seama şi de relaţiile (15.3.8) şi (15.3.9) se obţine:

$$\omega = \sqrt{\frac{\sigma_\rho t_2 s(R_{ep} - R_i) + \sigma_0 \cdot \dfrac{t_2 - t_1}{2 \sin \alpha} s R_{ep} \dfrac{\pi}{z}}{me^2}}. \tag{15.3.23}$$

Introducînd în această relaţie, expresiile analitice a tensiunilor σ_ρ şi σ_θ se obţine:

$$\omega = \sqrt{\frac{2\sigma_\rho s \left[\ln \dfrac{t_2}{t_1} \cdot t_2 (R_{ep} - R_i) + \left(1 + \ln \dfrac{t_2}{t_1}\right) \dfrac{t_2 - t_1}{2 \sin \alpha} R_{ep} \dfrac{\pi}{z}\right]}{me^2}} \tag{15.3.24}$$

Cunoscînd viteza unghiulară a capului port-sculă se poate determina şi turaţia acestuia:

$$n = \frac{30}{\pi} \omega. \tag{15.3.25}$$

15.3.6. PRELUCRAREA DE FINISARE A DANTURII

15.3.6.1. Şeveruirea în diagonală a danturii. La şeveruirea obişnuită avansul longitudinal al şeverului este paralel cu axa roţii dinţate pe cîtă vreme la şeveruirea diagonală avansul longitudinal este orientat sub un unghi faţă de axa roţii dinţate, lucru care conduce la avantaje foarte mari.

La valori mari ale unghiurilor între axa maşinii şi direcţia mişcării, adică la unghiuri diagonale mari, se micşorează foarte mult lungimea cursei mesei, ceea ce reduce timpul de lucru de maşină. În afară de aceasta se mic-

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

șorează și numărul de curse duble ale șeverului. La roțile dințate mici și cu un adaos de prelucrare mic este suficientă și numai o singură cursă dublă. De asemenea și durabilitatea șeverului crește mult (în comparație cu șeverul folosit la șeveruirea obișnuită), întrucît efortul de așchiere este dispersat, mai uniform în lungul dintelui șeverului. La șeveruirea diagonală între lățimea șeverului, coroanei dințate și mărimea unghiului diagonal este o legătură strînsă.

Acest lucru este exprimat de mărimea maximă admisibilă a unghiului diagonal, a cărui valoare se determină în modul următor.

Din figura 15.3.12 se ia mai întîi în considerare triunghiul ABC, reprezentat în figura 15.3.13.

Din ΔABE, rezultă că:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{BE}{AE}. \tag{15.3.26}$$

Laturile BE și AE se determină, avînd în vedere că, în ΔBEC:

$$\sin \psi = \frac{BE}{BC} = \frac{BE}{B_ș}, \tag{15.3.27}$$

BC fiind egal cu lățimea coroanei șeverului, notată cu $B_ș$.

Din relația (15.3.27) se obține mărimea laturii BE căutată:

$$BE = B_ș \sin \psi. \tag{15.3.28}$$

Latura AE, la rîndul ei, este:

$$AE = AC - EC, \tag{15.3.29}$$

AC fiind egală cu lățimea coroanei roții dințate, notată cu B_r.

Din ΔBEC, se vede că:

$$\cos \psi = \frac{EC}{BC} = \frac{EC}{B_ș}, \tag{15.3.30}$$

din care rezultă:

$$EC = B_ș \cos \psi. \tag{15.3.30'}$$

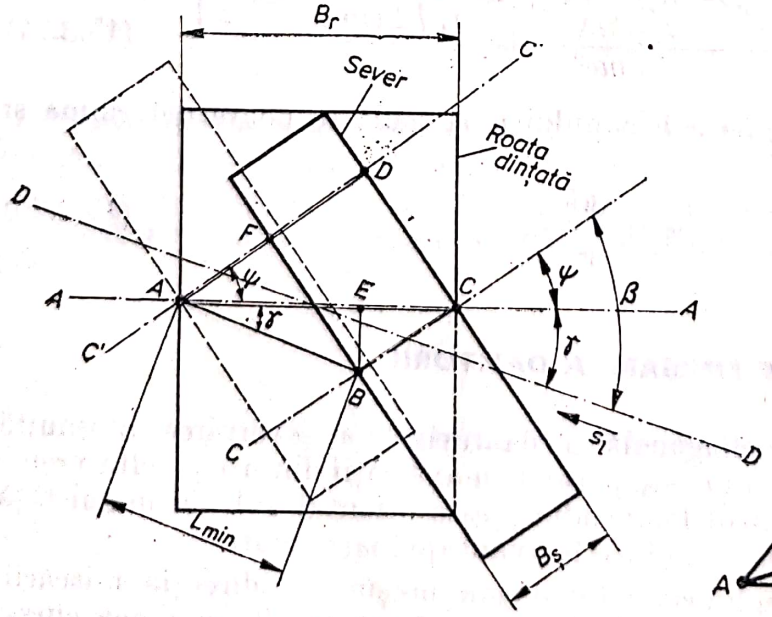


Fig. 15.3.12. Schema de principiu a șeveruirii în diagonală.

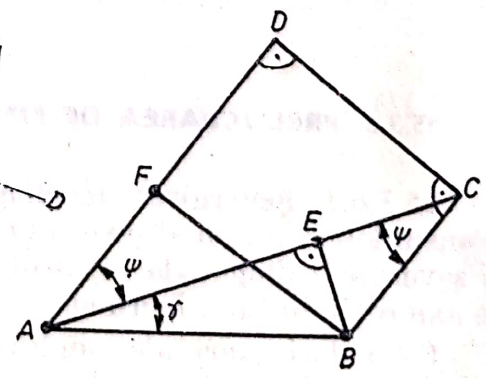


Fig. 15.3.13. Detaliu geometric extras din figura 15.3.12.

Revenind la relaţia (15.3.29) se poate scrie:

$$AE = B_r - B_\phi \cos \psi. \tag{15.3.31}$$

Ţinînd seama de relaţiile (15.3.28) şi (15.3.31) se obţine relaţia de calcul a tangentei unghiului diagonal:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{BE}{AE} = \frac{B_\phi \sin \psi}{B_r - B_\phi \cos \psi} \tag{15.3.32}$$

Dacă se cunoaşte unghiul diagonal γ se poate determina lungimea minimă a cursei mesei maşinii necesară, pentru ca şeverul să poată prelucra toată lungimea dintelui roţii dinţate.

Pentru determinarea cursei mesei se ia în considerare patrulaterul $ABCD$, reprezentat în figura 15.3.13, extras din figura 15.3.12.

Din $\Delta\ AFB$ se obţine:

$$\sin (\psi + \gamma) = \frac{FB}{AB} = \frac{FB}{L}, \tag{15.3.33}$$

L fiind mărimea cursei mesei.

Din (15.3.33) rezultă:

$$FB = L \sin (\psi + \gamma). \tag{15.3.34}$$

În continuare, din ΔADC se obţine:

$$\sin \psi = \frac{DC}{AC} = \frac{DC}{B_r}, \tag{15.3.35}$$

din care

$$DC = B_r \sin \psi, \tag{15.3.36}$$

În patrulaterul $ABCD$ se vede că: $DC = FB$.
Astfel, se poate scrie:

$$FB = B_r \sin \psi. \tag{15.3.37}$$

Introducînd (15.3.37) în (15.3.34) se obţine:

$$L \sin (\psi + \gamma) = R_r \sin \psi,$$

din care rezultă relaţia de calcul a mărimii minime L a cursei mesei:

$$L = \frac{B_r \sin \psi}{\sin (\psi + \gamma)}. \tag{15.3.38}$$

Din relaţia obţinută se observă că, cu cît unghiul diagonal γ este mai mare, cu atît lungimea L a cursei mesei devine mai mică.

La şeveruirea obişnuită cînd unghiul de încrucişare este de 15°, lungimea minimă a cursei mesei L este aproape egală cu lăţimea coroanei roţii dinţate.

La şeveruirea diagonală cînd unghiul diagonal $\gamma = 10°$, lungimea cursei $L = 0{,}6\ B_{cr}$; cînd $\gamma = 15°$, $L = 0{,}5\ B_{cr}$; cînd $\gamma = 20°$, $L = 0{,}43\ B_{cr}$ şi cînd $\gamma = 30°$, $L = 0{,}35\ B_{cr}$.

Timpul de maşină pe bucată la şeveruire este:

$$\tau_{b\ mas} = tn, \tag{15.3.39}$$

unde t este timpul necesar pentru efectuarea unei curse a mesei, în min; n — numărul de curse al mesei necesar pentru prelucrarea unei roţi dinţate.

Scanned with OKEN Scanner

Chiar dacă şeveruirea diagonală se face cu acelaşi regim de lucru ca şi şeveruirea obişnuită, totuşi timpul de maşină pe bucată scade proporţional cu micşorarea lungimii cursei mesei.

Eficacitatea economică a şeveruirii diagonale reiese din următoarele exemple comparative luate din practica uzinelor G.A.Z.

1 — La şeveruirea unei roţi dinţate cu $Z = 30$ dinţi, $m = 2$ mm, lăţimea coroanei dinţate $B_{cr} = 32$ mm, cu un şever cu lăţimea coroanei $B_{cş} = 20$ mm, cu unghiul de încrucişare $\psi = 15°$, un unghi diagonal $\gamma = 22°$, unghiul de înclinaţie a mesei maşinii $\beta = 22° + 15° = 37°$, iar după relaţia (15.3.38) rezultă că lungimea minimă a cursei $L = 14$ mm, la care se mai adaugă cîte 1 mm cu care marginea şeverului depăşeşte marginea coroanei dinţate de o parte şi de alta a acesteia, deci lungimea maximă a cursei mesei este $L = 14 + 2 = 16$ mm.

Timpul de maşină pe bucată pentru şeveruirea diagonală a danturii acestei roţi este de 2 ori mai mic decît pentru şeveruirea obişnuită, după cum se vede în tabelul 15.3.1.

Tabelul 15.3.1

Timpii de lucru pe bucată la şeveruirea paralelă şi în diagonală

Metoda de şeveruire	Lungimea cursei mesei L, mm	Numărul curselor		Timpul de maşină pe bucată, min.
		de aşchiere	de calibrare	
Paralelă	32	6	2	2
Diagonală	16	6	2	1

2 — La şeveruirea unei roţi dinţate cilindrice cu $Z = 22$, $m = 2{,}94$ mm, $B_{cr} = 20$ mm, $B_{cs} = 19$ mm, unghiul de înclinaţie a danturii este egal cu 32°10′15″, $\psi = 15°$, unghiul diagonal $\gamma = 27°$, unghiul de înclinaţie a mesei maşinii $B = 15° + 27° = 42°$; după relaţia (15.3.38) rezultă că lungimea minimă a cursei $L = 75$ mm, iar lungimea maximă $L = 7{,}5 + 2 = 9$ mm. Timpul de maşină pe bucată la şeveruirea diagonală a acestei roţi dinţate este de numai cu 39 secunde în comparaţie cu 92 secunde la şeveruirea obişnuită. Numărul curselor duble la ambele metode de şeveruire a fost egal între ele şi egal cu cel din exemplul precedent.

Precizia de prelucrare şi calitatea suprafeţei obţinute la şeveruirea diagonală satisfac condiţiile tehnice impuse roţilor dinţate din industria de automobile uşoare şi grele.

Înălţimea medie practică a microasperităţilor suprafeţei obţinută la şeveruirea diagonală este de 0,4—0,7 μm, pe cîtă vreme la şeveruirea obişnuită este 0,76—1,2 μm.

Pe baza experienţei uzinelor din străinătate în care s-a înrădăcinat această metodă înaintată de şeveruire, rezultă că şeveruirea diagonală este cu 50% mai productivă decît şeveruirea obişnuită chiar dacă se folosesc şeverele înguste existente cu lăţimea pînă la 20 mm.

Pentru obţinerea tuturor avantajelor pe care le oferă şeveruirea diagonală s-a mai stabilit că este necesar a avea maşini speciale de şeveruit, care să aibă o rigiditate ridicată, pentru a se putea reduce numărul de curse duble la una singură, maximum două.

Asupra preciziei de prelucrare a danturii prin şeveruire influenţează într-o măsură foarte mare regimul de aşchiere, precizia şi rigiditatea maşinii de şeveruit.

Scanned with OKEN Scanner

Viteza periferică a şeverului trebuie să fie de 105—135 m/min, avansul la o rotaţie a piesei egal cu 0,2—0,35 mm/rot, avansul orizontal al mesei maşinii de 80—110 mm/min, avansul vertical 0,04—0,05 mm/cursă dublă, numărul de curse de lucru a mesei egal cu 6, iar a celor de calibrare de 4. Adaosul de prelucrare la grosimea dintelui de 0,010 mm. Dacă diametrul exterior al roţii dinţate care se prelucrează este cu mult mai mic decît al şeverului, se recomandă ca viteza periferică a şeverului să se micşoreze, iar avansul orizontal al mesei să se mărească. Dacă diametrul şeverului este mai mic decît al roţii dinţate care se prelucrează, atunci viteza periferică a şeverului trebuie să se mărească, iar avansul mesei să se micşoreze.

Bătaia exterioară a şeverului nu trebuie să fie mai mare de 0,005—0,010 mm. Bătaia axială a şeverului să nu fie mai mare de 0,01—0,15 mm, iar bătaia vîrfurilor păpuşii fixe şi mobile să nu fie mai mare de 0,005—0,010 mm. Bătaia axială a gulerului dornului pe care se fixează roata dinţată să nu fie mai mare de 0,005—0,010 mm.

Se recomandă de asemenea ca prima roată dinţată şeveruită după reascuţirea şeverului să se controleze minuţios. Dacă nu s-a obţinut precizia impusă, atunci şeverul trebuie trimis înapoi în sculărie pentru recondiţionare. În felul acesta se măreşte foarte mult precizia de prelucrare prin şeveruire.

15.3.6.2. **Rectificarea danturii roţilor dinţate.** Metoda cea mai răspîndită de finisare a danturii roţilor dinţate tratate termic este rectificarea, care asigură obţinerea unei precizii a profilului dinţilor pînă la 2,5 ... 3 μm. Prin rectificare se pot îndepărta adaosuri de prelucrare de pe dantura roţilor dinţate, încît să se corecteze toate erorile, atît cele de prelucrare prin frezare, cît şi cele apărute în urma tratamentului termic.

Rectificarea danturii se poate face după două metode:

— prin copiere;
— prin rulare.

Considerînd cunoscute schemele cinematice ale maşinilor de rectificat, după cele două metode, precum şi principiile de generare a profilului flancurilor dinţilor, la rectificarea prin rulare, în cele ce urmează se prezintă numai cîteva probleme mai deosebite cu caracter tehnologic.

După metoda copierii, discul de rectificat are profilul golului dintre doi dinţi şi execută rectificarea simultană a întregului profil al flancurilor a doi dinţi învecinaţi, pe întreaga lor lungime (fig. 15.3.14).

Profilarea discului de rectificat se face prin copiere după şablon cu ajutorul a două vîrfuri de diamant, fiecare din ele profilînd un flanc al discului.

Metoda de rectificare prin copiere a danturii este cea mai productivă metodă, deoarece la fiecare cursă longitudinală se rectifică întreg profilul flancurilor golului. Această metodă însă este şi cea mai imprecisă. De aceea, ea se aplică în producţia de serie mare numai la rectificarea danturilor roţilor dinţate cu precizia medie. Precizia de prelucrare scăzută a acestei metode se datoreşte uzurii neuniforme a profilului discului de rectificat din cauza vitezelor de aşchiere diferite în diferitele puncte ale profilului.

O metodă nouă de rectificare a danturii prin rulare este *rectificarea cu melc abraziv*. Principiul de lucru al maşinii respective de rectificat este similar cu al maşinilor de danturat cu freză melc.

Rectificarea după această metodă este foarte productivă, însă dezavantajul ei principal constă în durabilitatea scăzută a melcului, fapt care conduce

Scanned with OKEN Scanner

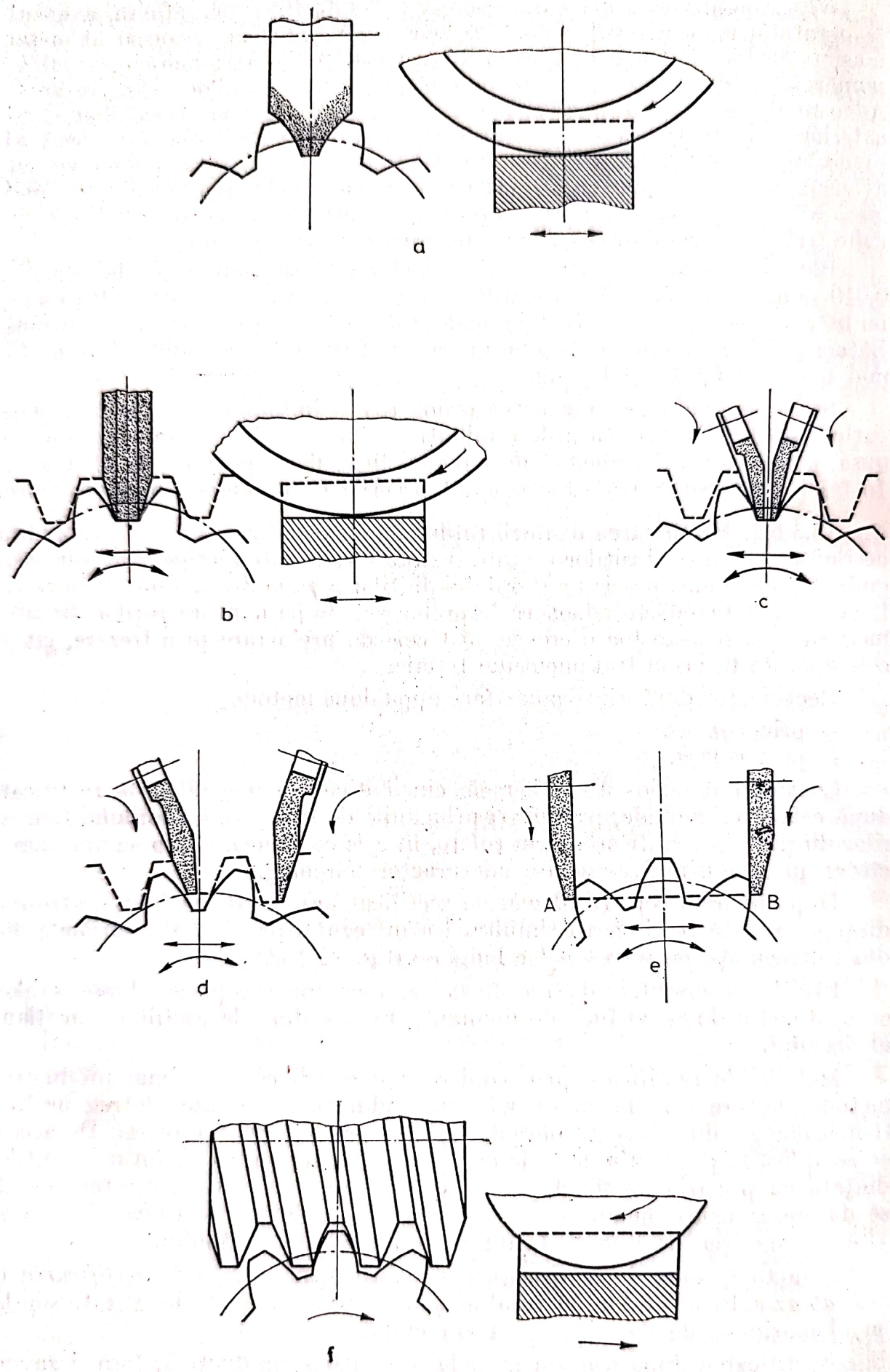


Fig. 15.3.14. Metode de rectificare a danturii roţilor dinţate.

Scanned with OKEN Scanner

și la o scădere a preciziei de prelucrare, precum și la necesitatea unei ascuțiri frecvente a flancurilor spirelor melcului respectiv. Acest dezavantaj este și cauza limitării domeniului restrîns de aplicare a metodei și anume în întreprinderile de mecanică fină la rectificarea roților dințate cu modul mic (0,3 ... 1,5 mm).

Profilarea și ascuțirea spirelor melcului abraziv se face fie prin rulare cu o rolă din oțel cu spire inelare cu profilul identic cu al golului dintre spirele melcului, fie cu două cuțite cu vîrfurile de diamant. Deoarece flancurile spirelor melcului abraziv trebuie să fie liniare, egale cu ale cremalierei, cuțitele de ascuțit trebuie să aibă muchiile foarte precise în ceea ce privește liniaritatea lor, care nu trebuie să aibă o abatere de la liniaritate mai mare de 1 μm.

Profilarea de degroșare a spirelor melcului abraziv se face cu rola de oțel, iar finisarea cu cuțitele cu vîrfurile de diamant. Înainte de finisarea flancurilor spirelor melcului abraziv, între spirele acestuia se execută cu o rolă din oțel cu o singură spiră, cu unghiul la vîrf de 15°, un canal de scăpare pentru cuțitele de finisat (fig. 15.3.15). La profilarea de degroșare rola de oțel se rotește liberă între vîrfuri.

Melcul abraziv se rotește cu o turație de 50 ... 100 rotații pe minut corespunzătoare unei viteze periferice de 1 ... 2 m/s. Avansul transversal al rolei pentru profilarea canalului în melcul abraziv este de 0,01 ... 0,02 mm pe rotație, adaosul de prelucrare pentru profilarea de finisare cu cuțitele este de 0,1 ... 0,2 mm. Schema de fixare a cuțitelor este reprezentată în figura 15.3.16. Calitatea suprafeței rectificate a dinților este funcție de mărimea avansului logitudinal al mesei mașinii, de granulația și duritatea discurilor abrazive, precum și de calitatea ascuțirii sau îndepărtării discului de rectificat. Pentru ridicarea calității suprafeței rectificate se recomandă ca operația de rectificare să se facă în două faze: degroșare și finisare. La rîndul ei fiecare fază să se execute din cîteva treceri, funcție de mărimea adaosului de prelucrare.

La rectificarea cu discuri de rectificat plate cu profilul conic, adîncimea de așchiere la primele treceri de degroșare poate fi luată de 0,12 ... 0,15 mm, iar la rectificarea cu discuri taler — 0,08 ... 0,1 mm. La rectificarea după metoda copierii (cu discuri profilate) la primele treceri de degroșare adîncimea de așchiere se poate lua de 0,08 ... 0,12 mm, iar la ultimele de numai 0,05 mm.

Numărul trecerilor de finisare este funcție de calitatea suprafeței și de precizia de prelucrare impusă danturii. La rectificarea danturii roților dințate din clasa 7—8 de precizie și rugozitatea egală cu $R_a = 1{,}6$ μm numărul trecerilor trebuie să fie de cel puțin două, după ce în prealabil discul a fost

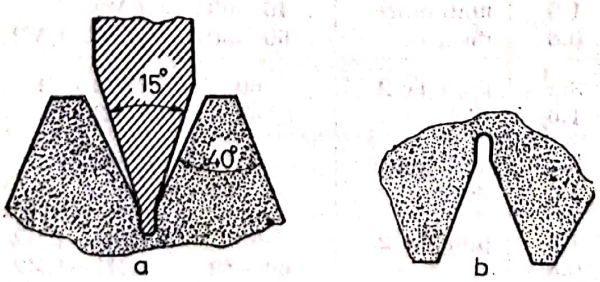


Fig. 15.3.15. Profilarea de degroșare a spiralelor melcului abraziv.

Fig. 15.3.16. Schema de fixare a cuțitelor pentru profilarea de finisare a spiralelor melcului abraziv.

Scanned with OKEN Scanner

ascuțit. Cînd se impune o precizie și o calitate a suprafeței mai ridicată, numărul trecerilor se mărește, adîncimea de așchiere fiind de numai 0,01 ... 0,15 mm sau chiar numai treceri în gol.

În timpul procesului de rectificare, granulele discului abraziv se uzează și porii se îmbîcsesc, lucru care duce la arderea stratului superficial al suprafeței rectificate. Pentru restabilirea proprietăților așchietoare ale discului trebuie ca înaintea fazelor de finisare a fiecărei piese să se facă ascuțirea discului. Atunci cînd timpul de bază de mașină pentru rectificarea unei roți dințate este mai mare de 15 minute, trebuie ca ascuțirea discului să se facă în timpul fazei de degroșare și înaintea celei de finisare.

Pentru evitarea arderii stratului superficial și apariției fisurilor se recomandă utilizarea discurilor de rectificat moi, reducerea adîncimii de așchiere la fiecare trecere.

O atenție deosebită trebuie să se acorde alegerii durității discului care are influența cea mai mare asupra arderii stratului superficial al suprafeței.

Caracteristicile discului de rectificat este bine să se aleagă după indicațiile din tabelele 15.3.2 și 15.3.3.

Discurile abrazive cu care se face rectificarea după metoda copierii trebuie să aibă duritatea mai mare decît cele cu care se rectifică dantura după metoda rulării.

Pentru evitarea arderii stratului superficial la rectificare se recomandă a se face răcirea cu lichid prin interiorul discului de rectificat sau cu lichid pulverizat.

Tabelul 15.3.2

Recomandări privind alegerea discurilor de rectificat

Materialul piesei	Metoda de rectificare	Rugozitatea suprafeței R_a în μm	Modulul danturii, în mm	Caracteristicile discului	
				Granulația	Duritatea
Oțel de construcții călit la HRC = 28 ... 42	Rulare	3,2	pînă la 2	60	CM2—C1
		1,6			
		3,2	mai mare de 2	46	CM2—C1
		1,6		60	CM2—C1
Oțel de construcții cementat și călit la HRC = 56		1,6	pînă la 2	60	CM2
		0,8		80	CM1—CM2
		1,6	mai mare de 2	46—60	CM2
		0,8		60—80	CM1—CM2
Oțel de construcții călit la HRC = 28 ... 42	Copiere	3,2	pînă la 2	60	CM2—C1
		1,6		60	CM2—C1
		3,2	mai mare de 2		CM2—C1
		1,6		46—60	CM2—C1
Oțel de construcții cementat și călit la HRC = 56		1,6	pînă la 2	60	CM1—CM2
		0,8		60—80	CM1—CM2
		1,6	mai mare de 2	46—60	CM1—CM2
		0,8		60	CM1—CM2

Observații: Discurile abrazive din electrocorindon alb au structura 5—7; liantul ceramic.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.3.3

Recomandări privind alegerea melcilor abrazivi

Modulul danturii, în mm	Caracteristica melcului abraziv	
	Granulația	Duritatea
0,3—0,5	M28—M40	CM2
0,6—0,8	230—280	CM2—C1
0,9—1,5	150—280	C1
1,6—2,5	120—150	C1—C2

Parametrii regimului de așchiere la rectificarea prin rulare sînt: adîncimea de așchiere la o trecere; numărul de treceri; numărul de rulări pe minut; avansul longitudinal pe rulare și viteza periferică a discului (tabelul 15.3.4).

Parametrii regimului de așchiere la rectificarea prin copiere sînt: adîncimea de așchiere la o trecere; numărul de treceri; viteza de deplasare a

Tabelul 15.3.4

Regimurile de așchiere la rectificarea danturii prin rulare cu două discuri talere

Adaosul de prelucrare unilateral pe cercul de divizare, în mm	Denumirea operației	Numărul trecerilor, i	Avansul la o rulare, s_0, în mm	Adîncimea de așchiere pe cercul de divizare, în mm
0,125	degroșare	1	5,8	0,07
	semifinisare	1	5,8	0,04
	finisare	1	1,33	0,015
0,16	degroșare	1	4,7	0,08
	semifinisare	1	4,7	0,06
	finisare	1	1,33	0,02
0,2	degroșare	2	4,7	0,08
			4,7	0,065
	semifinisare	1	4,7	0,04
	finisare	1	1,33	0,015
0,25	degroșare	3	5,8	0,08
			5,8	0,065
			5,8	0,05
	semifinisare	1	5,8	0,04
	finisare	1	1,33	0,015
0,3	degroșare	3	4,7	0,09
			4,7	0,08
			4,7	0,075
	semifinisare	1	4,7	0,04
	finisare	1	1,33	0,015

Scanned with OKEN Scanner

mesei mașinii (avansul longitudinal); viteza periferică a discului de rectificat (tabelele 15.3.5, 15.3.6 și 15.3.7).

Reglarea mașinii de rectificat dantură prin copiere constă în general în reglarea mecanismului care asigură obținerea pe ambele părți ale discului de rectificat profilul impus și dimensiunile golului dintre dinți. În afară de aceasta, la reglare trebuie să se asigure dispunerea simetrică a profilului dinților față de axa de simetrie a alezajului roții dințate.

Reglarea mașinilor de rectificat dantură prin rulare constă în asigurarea dispunerii reciproce a diverselor ansamble ale mașinii, în alegerea și fixarea (asamblarea) organelor de schimb cu care se obține regimul de așchiere determinat și în sfîrșit reglarea dispozitivului de ascuțire a discurilor.

Tabelul 15.3.5

Regimurile de așchiere la rectificarea danturii prin copiere

Adaosul de prelucrare unilateral, în mm	Viteza de deplasare a mesei mașinii v_d, în m/min	Denumirea fazelor						
		Degroșare i_1	Semifinisare i_2	Finisare i_3	degroșare i_1	semifinisare i_2	finisare i_3	
		Adîncimea de așchiere, t, în mm			Numărul de treceri i			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,125	4,0	0,04 —0,045	0,017	0,006	2	2	1	5
	5,0	0,03	0,015	0,005	3	2	1	6
	6,3	0,02 —0,025	0,013	0,004	4	2	1	7
	8,0	0,02 —0,022	0,010	0,004	4	3	1	8
	10,0	0,018—0,025	0,010	0,003	5	3	1	9
	12,5	0,017—0,023	0,009	0,003	5	3	1	9
0,16	4,0	0,025—0,045	0,017	0,006	3	2	1	6
	5,0	0,038—0,045	0,015	0,005	3	2	1	6
	6,3	0,030—0,035	0,013	0,004	4	2	1	7
	8,0	0,028—0,033	0,010	0,004	4	3	1	8
	10,0	0,022—0,029	0,010	0,003	5	3	1	9
	12,5	0,019—0,024	0,009	0,003	6	3	1	10
0,2	4,0	0,05 —0,06	0,017	0,006	3	2	1	6
	5,0	0,038—0,044	0,015	0,005	4	2	1	7
	6,3	0,03 —0,038	0,013	0,004	5	2	1	8
	8,0	0,03 —0,038	0,010	0,004	5	3	1	9
	10,0	0,025—0,032	0,010	0,003	6	3	1	10
	12,5	0,021—0,028	0,009	0,003	7	3	1	11
0,25	4,0	0,048—0,055	0,017	0,006	4	2	1	7
	5,0	0,048—0,056	0,015	0,005	4	2	1	7
	6,3	0,042—0,048	0,013	0,004	5	2	1	8
	8,0	0,042—0,048	0,010	0,004	5	3	1	9
	10,0	0,031—0,044	0,010	0,003	6	3	1	10
	12,5	0,026—0,036	0,009	0,003	7	3	1	11
0,32	4,0	0,06 —0,07	0,017	0,006	4	2	1	7
	5,0	0,048—0,056	0,015	0,005	5	2	1	8
	6,3	0,04 —0,050	0,013	0,004	6	2	1	9
	8,0	0,04 —0,050	0,010	0,004	6	3	1	10
	10,0	0,035—0,040	0,010	0,003	7	3	1	11
	12,5	0,035—0,037	0,009	0,003	8	3	1	12

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.3.6

Viteza optimă de deplasare a mesei mașinii la rectificarea prin copiere

Timpul de divizare, în s	Lungimea dintelui roții B, în mm							
	40	50	64	80	100	125	160	200
	Viteza optimă de deplasare a mesei, v_a, în m/min							
0,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0
0,064	—	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5
0,8	—	—	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0
1,0	—	—	—	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0
1,25	—	—	—	—	3,2	4,0	5,0	6,3

Tabelul 15.3.7

Numărul curselor la rectificarea danturii prin copiere

Viteza de deplasare a mesei mașinii v_a, în mm	Lungimea cursei de lucru B_{c1}, în mm							
	40	50	64	80	100	125	160	200
	Numărul curselor duble n a mesei într-un minut							
4,0	50	40	32	25	20	16	13	10
5,0	63	50	40	32	25	20	16	13
6,3	80	63	50	40	32	25	20	16
8,0	100	80	63	50	40	32	25	20
10,0	125	100	80	63	50	40	32	25
12,5	156	125	100	80	63	50	40	32

Reglarea mașinilor nu se poate face numai după tamburii și riglele gradate, ci se impune un control minuțios și reglări de compensare pentru obținerea preciziei de prelucrare impusă, la prima roată dințată.

Reglarea mașinilor care lucrează prin rulare este mai simplă decît a celor prin copiere. Confecționarea șabloanelor de copiat pentru fiecare tipodimensiune de roți dințate este foarte costisitoare. De asemenea, reglarea șabloanelor de copiat și a diametrelor pentru ascuțirea discului impune un grad de calificare ridicat din partea reglorului și necesită un timp de lucru însemnat.

Reglarea mașinilor care lucrează prin rulare se verifică mult mai ușor și nu necesită confecționarea de dispozitive speciale pentru fiecare tipodimensiune de roți dințate.

Timpul de bază de mașină pentru rectificarea danturii fiind în general mare, productivitatea mașinilor respective nu este afectată într-o măsură însemnată de timpul de reglare. De aceea pentru mărirea productivității nu se impune necesitatea confecționării unor dispozitive speciale pentru reglarea mașinilor, decît numai în scopul ridicării preciziei de așezare a pieselor pe mașină. Mărirea productivității prelucrării se poate realiza prin utilizarea discurilor de rectificat care permit rectificarea cu viteze de rectificat pînă la 50 m/s, fără arderea stratului superficial. De asemenea, fixarea în pachet a cîtorva roți dințate mai înguste pentru rectificarea lor simultană constituie un mijloc de mărire a productivității prelucrării.

15.3.6.2.1. Procedeul Maag. Materializarea flancurilor cremalierei generatoare se face prin suprafețele frontale a două discuri taler, care rectifică flancurile aceluiași gol sau alte două flancuri antiomoloage.

Scanned with OKEN Scanner

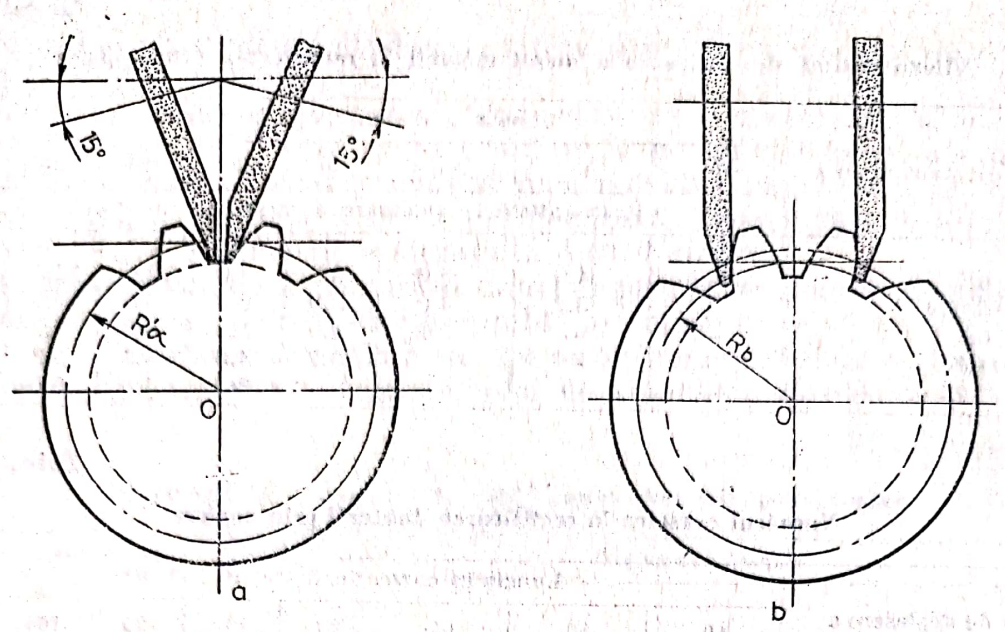


Fig. 15.3.17. Rectificarea danturii după procedeul Maag:
a — la 15°; *b* — la 0°.

După poziția axelor discurilor în raport cu un plan orizontal se deosebesc două metode de rectificare:

1 — metoda de rectificare la 15° după care axele celor două discuri abrazive fac un unghi de 15° cu planul orizontal (fig. 15.3.17, *a*).

În afara acestei metode clasice s-au construit mașini (Maag, TOS-Ob 16 etc.) la care unghiul de înclinare al axelor discurilor abrazive poate lua și valoarea de 15° (și chiar mai mare). De aceea uneori în locul metodei de 15° se vorbește despre metoda 15°/20°.

2 — metoda de rectificare la 0° după care axele discurilor taler fac un unghi de 0° cu un plan orizontal (fig. 15.3.17, *b*). Metoda 0° este o metodă modernă de rectificare și a apărut din necesitatea de a executa prin rectificare flancări de cap și de picior sau modificări longitudinale (bombări).

Deoarece la ambele metode de rectificare (de 15° sau 0°) unghiul profilului cremalierei generatoare, materializată de suprafețele active ale sculelor, diferă de 20°, rezultă că această cremalieră generatoare diferă de cremalieră generatoare STAS. Ca urmare, cercul de divizare din timpul prelucrării diferă de cel care apare la angrenarea cremalierei generatoare standardizată, chiar și în cazul danturilor nedeplasate. Această observație este deosebit de importantă pentru reglarea mașinilor-unelte de rectificat dantură.

În cele ce urmează se calculează diametrul cercului de divizare, presupunînd că se rectifică dantura normală a unei roți cilindrice cu dinți înclinați (calcule similare putîndu-se face și pentru danturi deplasate). În acest scop se notează:

β_d — unghiul de înclinare al dinților pe cilindrul de divizare la angrenarea cu cremaliere STAS;

β'_d — unghiul de înclinare al dinților pe cilindrul de divizare la angrenarea cu cremaliera materializată de discurile abrazive;

D_d — diametrul cercului de divizare al angrenării cu cremaliera generatoare STAS;

D'_d — diametrul cercului de divizare la angrenarea din timpul prelucrării;

$\alpha_{0n}(\alpha_{0f})$ — unghiul de angrenare normal (frontal) care apare la angrenarea cu cremaliera generatoare STAS;

$\alpha_{pn}(\alpha_{pf})$ — unghiul de angrenare normal (frontal) care apare la prelucrare.

În baza relațiilor stabilite la geometria danturilor cu dinți înclinați, diametrul cercului de bază al danturii de rectificare este:

$$D_b = D_d \cos \alpha_{0f} = \frac{m_n z}{\cos \beta_d} \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{0f}}} = \frac{m_n z}{\cos \beta_d} \frac{1}{\sqrt{1 + \dfrac{\operatorname{tg}^2 \alpha_{0n}}{\cos^2 \beta_d}}} =$$

$$= \frac{m_n z \cos \alpha_{0n}}{\sqrt{\cos^2 \alpha_{0n} \cos^2 \beta_d + \sin^2 \alpha_{0n}}}. \qquad (15.3.40)$$

Relațiile dintre unghiul de înclinare de bază al dinților și cel de divizare se scriu:

$$\cos \beta_b = \frac{\cos \alpha_{0n} \cos \beta_d}{\cos \alpha_{0f}} = \frac{\cos \alpha_{pn} \cos \beta'_d}{\cos \alpha_{pf}} \qquad (15.3.41)$$

și

$$\sin \beta_b = \sin \beta_d \cos \alpha_{on} = \sin \beta'_d \cos \alpha_{pn}$$

de unde

$$\sin \beta'_d = \frac{\cos \alpha_{0n}}{\cos \alpha_{pn}} \sin \beta_d. \qquad (15.3.42)$$

Diametrul D'_d este dat de:

$$D'_d = \frac{D_b}{\cos \alpha_{pf}} = \frac{D_d \cos \alpha_{0f}}{\cos \alpha_{pf}} = \frac{m_n z \cos \alpha_{0f}}{\cos \beta_d \cos \alpha_{pf}}.$$

Folosind relațiile (15.3.41) și (15.3.42) se obține:

$$D'_d = \frac{m_n z}{\sqrt{\dfrac{\cos^2 \alpha_{pn}}{\cos^2 \alpha_{0n}} - \sin^2 \beta_d}} \qquad (15.3.43)$$

Formulele obținute se pot particulariza pentru cele două metode:

Metoda de 15°. În acest caz $\alpha_{pn} = 15°$, astfel că pentru roțile cu dinți înclinați, cu unghiul de angrenare normal $\alpha_{0n} = 20°$, formulele (15.3.42) și (15.3.43) devin:

$$\sin \beta'_d = \frac{\cos 20°}{\cos 15°} \sin \beta_d = 0{,}97282 \sin \beta_d; \qquad (15.3.44)$$

respectiv:

$$D'_d = \frac{m_n z}{\sqrt{\dfrac{\cos^2 15°}{\cos^2 20°} - \sin^2 \beta_d}} = \frac{m_n z}{\sqrt{1{,}05678 - \sin^2 \beta_d}}. \qquad (15.3.45)$$

Pentru roțile cu dinți drepți ($\beta_d = 0$) relațiile (15.3.44) și (15.3.45) dau:

$$\beta'_d = 0$$

$$D'_d = \frac{\cos 20°}{\cos 15°} mz = 0{,}9782\, mz$$

Scanned with OKEN Scanner

Metoda de 0°. Pentru $\alpha_{pn} = 0°$ și $\alpha_{0n} = 20°$ relațiile (15.3.42) și (15.3.45) dau:

$$\sin \beta'_d = \cos 20° \sin \beta_d = 0{,}93969 \sin \beta_d, \tag{15.3.46}$$

respectiv:

$$D'_d = \frac{m_n z \cos \alpha_{0n}}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha_{0n} \sin^2 \beta_d}} = \frac{m_n z \cos \alpha_{0n}}{\sqrt{\sin^2 \alpha_{on} + \cos^2 \alpha_{on} \cos^2 \beta_d}}$$

sau, ținînd seama de (15.3.46) rezultă

$$D'_d = D_b. \tag{15.3.47}$$

Pentru roțile cu dinți drepți ($\beta_d = 0$) formulele (15.3.46) și (15.3.47) devin:

$$\beta'_d = \beta_d$$

$$D'_d = D_b.$$

Dacă relațiile generale (15.3.42) și (15.3.43) se particularizează pentru $\alpha_{0n} = \alpha_{pn} = 20°$, atunci se obține:

$$\beta'_d = \beta_d, \text{ respectiv } D'_d = \frac{m_n z}{\cos \beta_d} = D_d,$$

ceea ce arată că la prelucrarea cu ajutorul discurilor taler se materializează flancurile cremalierei generatoare STAS.

Cele mai moderne mașini Maag permit rectificarea danturilor cu dinți drepți, putînd lucra după ambele metode și dispunînd de dispozitivul de realizare a flancării de cap și de picior (de ex. mașina HSS-60 B).

Principiul de generare pe o mașină Maag se poate urmări în schema din figura 15.3.18.

Se presupune, pentru început, că se rectifică danturi cu dinți drepți. Rostogolirea fără alunecare a cercului de divizare al roții pe dreapta de divizare a sculei este realizată de rotirea tamburului *3* (aflat pe același ax cu roata de prelucrat *8*) antrenat de deplasarea saniei transversale *2*, prin intermediul benzilor metalice *5*, fixate de cadrul *4* de pe sania longitudinală *1*. În decursul acestei mișcări se generează profilul dintelui.

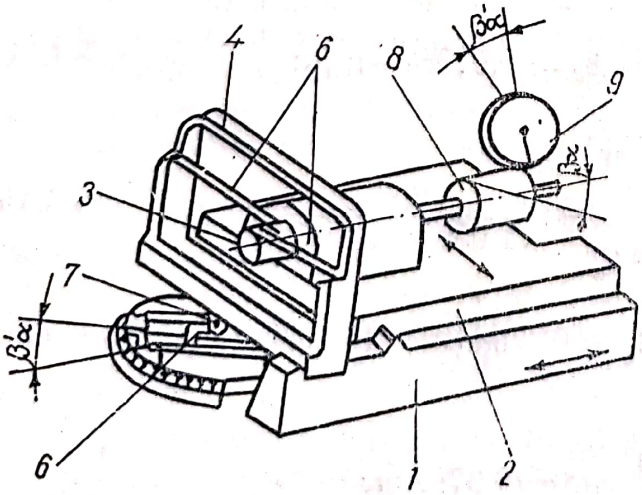


Fig. 15.3.18. Schema de principiu a generării danturii pe o mașină Maag.

Pentru a se asigura rostogolirea fără alunecare între cercul și dreapta de divizare este necesar ca, abstracție făcînd grosimea benzilor *5*, diametrul tamburului (sau sectorului) *3* să fie egal cu diametrul D'_d, calculat cu relația (15.3.43).

Dezavantajul rezultat din necesitatea unui număr mare de tamburi este înlăturat (la unele mașini), printr-un dispozitiv de compensare. Prin intermediul acestuia se amplifică sau se diminuează deplasarea saniei trans-

Scanned with OKEN Scanner

versale *2* în aşa fel încît pe dreapta de divizare se obţine viteza de rostogolire corespunzătoare diametrului calculat al tamburului.

Pentru prelucrarea flancurilor dinţilor maşina realizează prin sania longitudinală *1*, mişcarea de avans longitudinal (avans de generare), caracterizată prin avansul s_1 (mm/cursă dublă).

După fiecare cursă dublă efectuată de masa longitudinală se execută divizarea, printr-un mecanism cu cruce de Malta.

Pentru rectificarea danturilor cu dinţi înclinaţi suportul portsculă este rotit astfel încît planul vertical al axelor discurilor taler să facă cu un plan perpendicular pe axa roţii de prelucrat unghiul β'_d, calculat după relaţia (15.3.42). Acelaşi unghi este făcut şi de ghidajul patinei *6* cu axa piesei. Datorită acestui ghidaj în timpul deplasării saniei longitudinale sania *2* primeşte prin patina *6* o mişcare suplimentară care provoacă tamburului o viteză periferică suplimentară:

$$v_{sup} = s_e n_{cd} \operatorname{tg} \beta'_d,$$

necesară respectării condiţiei de angrenare dintre sculă şi dantura de prelucrat.

Principiul de generare expus este acelaşi pentru toate maşinile Maag. Deosebirile care pot exista, în funcţie de mărimea piesei sau de dispunerea axei acesteia (orizontal sau vertical), duc numai la modificări ale mecanismelor de realizare a mişcărilor cerute de principiul de generare sau ale mecanismului de divizare.

La reglarea maşinii-unelte pentru rectificarea unei anumite danturi, raza manivelei mecanismului bielă manivelă care deplasează sania transversală se calculează cu relaţia:

$$r = \frac{L_c}{2},$$

unde s-a notat: r — raza manivelei; $L_c = L + L_s$ — lungimea reală a cursei de rostogolire; L — lungimea teoretică a cursei de rostogolire; $L_s = (3—5)$ mm lungimea suplimentară a cursei de rostogolire.

Timpul de maşină depinzînd în mod direct proporţional de lungimea cursei de rostogolire, productivitatea maşinii va fi cu atît mai mare cu cît mărimea L este mai mică.

Pentru a calcula lungimea teoretică a cursei de rostogolire se foloseşte figura 15.3.19, în care s-au reprezentat discurile abrazive şi roata de rectificat în poziţii aflate la jumătatea cursei de rostogolire.

Metoda de rectificare la 15° (fig. 15.3.17, *a*). Dacă se presupune că roata dinţată de prelucrat se rostogoleşte pe dreapta de divizare în sensul indicat de desen, atunci se va produce simultan rectificarea flancului stîng al golului pe porţiunea $\overset{\frown}{CA}$ şi a flancului drept pe porţiunea $\overset{\frown}{C'B'}$. Acestor porţiuni în evolventă le corespund arcele $\overset{\frown}{A_1C_1}$ şi $\overset{\frown}{B_1C_1}$ de pe cercul de bază al danturii. Pentru fiecare din ele pe cercul de divizare la prelucrare (cu diametrul D'_d) corespund nişte arce cu jumătatea deplasărilor necesare ale saniei transversale.

Dublul celei mai mari dintre aceste deplasări determină lungimea teoretică a cursei de rostogolire.

Scanned with OKEN Scanner

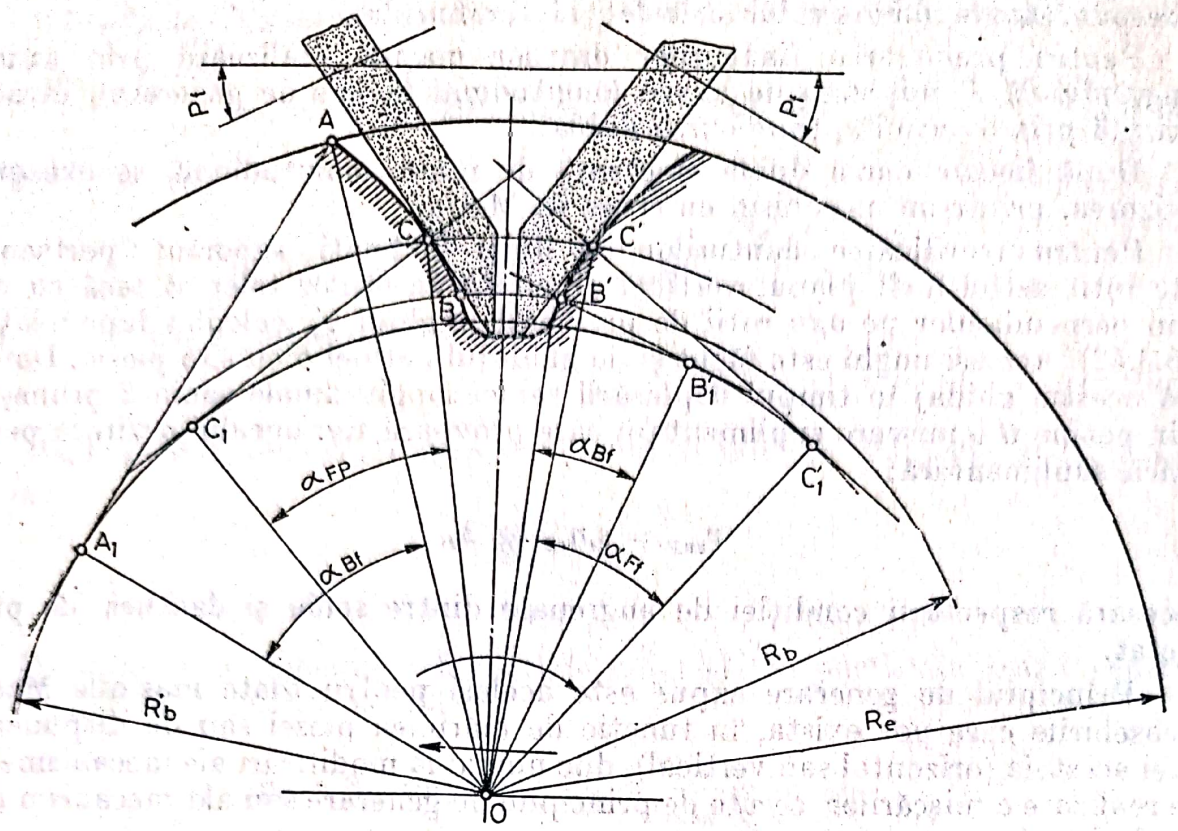


Fig. 15.3.19. Schemă pentru calculul lungimii teoretice a cursei de rostogolire.

Din figura 15.3.19 se obține:

$$\widehat{A_1C_1} = A_1A - C_1C,$$

pentru care corespunde o lungime teoretică a cursei de rostogolire

$$L_1 = D'_d \frac{\widehat{A_1C_1}}{R_b} = \frac{D'_d}{R_b}(A_1A - C_1C)$$

care, ținînd seama că:

$$A_1A = R_b \operatorname{tg} \alpha_{ef}$$

$$C_1C = R_d \operatorname{tg} \alpha_{pf}$$

se scrie:

$$L_1 = D'_d(\operatorname{tg} \alpha_{ef} - \operatorname{tg} \alpha_{pf}).$$

Analog se găsește lungimea cursei de rostogolire corespunzătoare arcului $\widehat{C'_1B'_1}$:

$$L_2 = D'_d \frac{\widehat{C'_1B'_1}}{R_b} = D'_d(\operatorname{tg} \alpha_{pf} - \operatorname{tg} \alpha_{Bf}).$$

Lungimea L este dată de cea mai mare din deplasările L_1 și L_2. Deoarece micșorarea uneia din ele atrage după sine mărirea celeilalte, lungimea minimă a cursei de rostogolire este dată de condiția:

$$L = L_1 = L_2,$$

Scanned with OKEN Scanner

care ținînd seama de expresiile obținute pentru L_1 și L_2, dă:

$$\operatorname{tg} \alpha_{pf} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{ef} + \operatorname{tg} \alpha_{Bf}}{2}. \qquad (15.3.48)$$

Pentru o dantură dată, cunoscînd α_{Bf}, cu relația (15.3.48) se determină α_{pf} și apoi unghiul:

$$\alpha_{pn} = \operatorname{arc\,tg} (\operatorname{tg} \alpha_{pf} \cos \beta'_d),$$

care asigură productivitatea maximă tehnologică prin scăderea la minimum a cursei de rostogolire. Aceste valori ale unghiului sînt mai mari de 15°. Studiile făcute au arătat că în funcție de dantura de prelucrat, acest unghi are valorile de 19÷23° (și din acest motiv mașinile moderne de rectificat cu discuri taler sînt prevăzute cu un domeniu de reglare a unghiului α_{pn} și nu cu o valoare constantă).

Pentru a ilustra cele de mai sus se consideră rectificarea danturii normale cu dinți drepți avînd: $m = 2$ mm, $Z = 40$ și cremaliera de referință 20°—1—— 0,25. Într-un calcul de orientare punctul B se consideră identic cu punctul extrem inferior de pe porțiunea activă a profilului dintelui. În acest caz, folosind (15.3.43) , relație care dă pe L_1, se scrie:

$$L_1 = \frac{mz \cos \alpha_{0n}}{\cos \alpha_{pn}} (\operatorname{tg} \alpha_{en} - \operatorname{tg} \alpha_{pn}),$$

care ținînd seama că:

$$\operatorname{tg} \alpha_{en} = \frac{\sqrt{R_e^2 - R_b^2}}{R_b},$$

devine

$$L_1 = \frac{mz \cos \alpha_{0n}}{\cos \alpha_{pn}} \left(\frac{\sqrt{R_e^2 - R_b^2}}{R_b} - \operatorname{tg} \alpha_{pn} \right).$$

Analog se găsește:

$$L_2 = \frac{mz \cos \alpha_{0n}}{\cos \alpha_{pn}} \left(\operatorname{tg} \alpha_{pn} - \frac{\sqrt{R_B^2 - R_b^2}}{R_b} \right).$$

Pentru aplicația dată, știind că:

$$R_e = \frac{m}{2}(z + 2) = 42 \text{ mm}$$

$$R_b = \frac{m}{2} z \cos \alpha_n = 40 \cos 20° = 37{,}5876 \text{ mm}$$

$$R_b = R_n = \frac{m}{2}(z - 2) = 38 \text{ mm}$$

se găsește: $L_1 \approx 17{,}95$ mm; $L_2 \approx 9{,}28$ mm.

Deci, se alege $L = 17{,}95$ mm.

Dacă unghiul α_{pn} se alege în baza relației (15.3.48) atunci:

$$\alpha_{pn} = 18°,$$

iar lungimea teoretică a cursei de rostogolire este:

$$L \approx 13{,}62 \text{ mm}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Metoda de rectificare la 0° (fig. 15.3.17, *b*). Ținînd seama de cele arătate la metoda de 15° rezultă:

$$L_1 = 2\widehat{C_1B_1} = 2(C_1C - B_1B) = 2R_b(\operatorname{tg}\alpha_{cf} - \operatorname{tg}\alpha_{Bf});$$

$$L_2 = 2\widehat{A_1'C_1'} = 2(A_1'A' - C_1'C') = 2R_b(\operatorname{tg}\alpha_{cf} - \operatorname{tg}\alpha_{cf}).$$

Lungimea cursei teoretice de rostogolire va fi și în acest caz cea mai mare din lungimile L_1 și L_2.

Pentru danturarea normală cu dinți drepți, considerînd și în acest caz punctul B ca la metoda de rectificare la 15° și folosind figura (15.3.19) se găsește:

$$\operatorname{tg}\alpha_{cn} = \frac{L_n}{2R_b}.$$

Lungimea normalei comune fiind:

$$L_n = m\cos\alpha_0\left[\pi\,(n-1) + \frac{S_d}{m} + z\ \operatorname{inv}\alpha_0\right],$$

se obține:

$$L_n = 2\cos 20°\,[\pi\,(5-1) + 40\ \operatorname{inv}20°] \approx 27{,}686\ \text{mm}.$$

În final:

$$L_1 \approx 16{,}54\ \text{mm};$$

$$L_2 \approx 9{,}77\ \text{mm}.$$

Lungimea teoretică a cursei de rostogolire va fi:

$$L = max\,(L_1,\ L_2) = 16{,}54\ \text{mm}.$$

care se constată că este mai mică decît cea de la metoda de 15°.

Dacă se compară și mărimile curselor longitudinale necesare realizării avansului de generare, se constată că și din acest punct de vedere rectificarea la 0° este mai avantajoasă decît cea la 15°.

15.3.6.3. **Honuirea danturii roților dințate.** După cum se știe o calitate superioară a suprafețelor de lucru a danturii roților dințate și o precizie ridicată a dimensiunilor danturii se poate obține prin șeveruire, cînd roata dințată este în stare crudă, sau prin rectificare cînd roata dințată este călită.

Un dezavantaj mare al prelucrării danturii roților dințate prin rectificare este productivitatea foarte scăzută. Acest dezavantaj al rectificării este înlăturat de prelucrarea de finisare a danturii roților dințate prin honuire. Această metodă înaintată asigură pe lîngă obținerea unei productivități ridicate și a unei calități superioare a suprafeței prelucrate și, o precizie corespunzătoare a profilului dintelui, lucru care duce la micșorarea zgomotului în funcționare a roților dințate.

Honuirea danturii este un proces de prelucrare asemănătoare cu șeveruirea însă are față de aceasta unele particularități. În ambele cazuri așchierea are loc datorită mișcării relative a suprafeței dintelui roții dințate față de suprafața dintelui sculei care este în contact.

Această mișcare relativă se realizează prin aceea că axa de rotație a roții dințate nu este paralelă cu a sculei cu care se face prelucrarea respectivă.

Scanned with OKEN Scanner

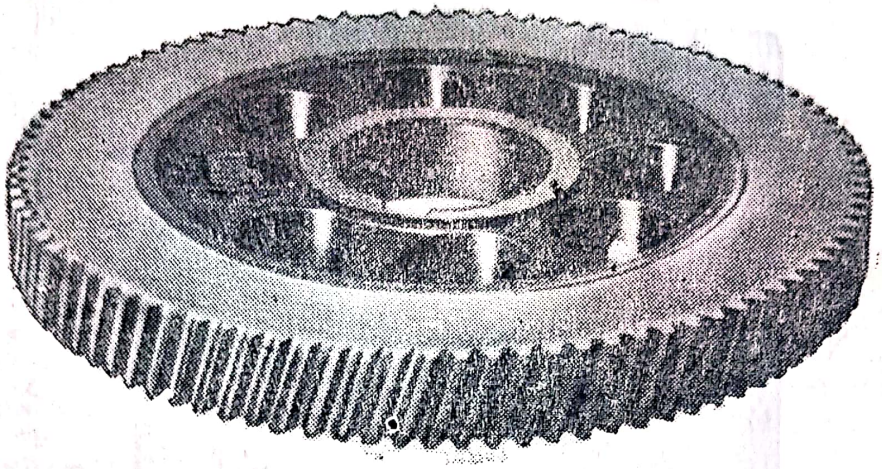


Fig. 15.3.20. Sculă pentru honuit dantură.

La șeveruire distanța între axa sculei și axa roții dințate care se prelucrează rămîne constantă tot timpul cît are loc îndepărtarea adaosului de prelucrare, corespunzător adîncimii de așchiere date prin ridicarea mesei mașinii pe care este fixată roata dințată. La honuire însă nu se poate păstra distanța între axe constantă în timpul honuirii din cauza rezistenței mici a sculei. Scula cu care se face honuirea (honul) este asemănătoare ca formă geometrică cu o roată dințată cilindrică cu dinți înclinați, confecționată prin presare la cald din carbură verde de siliciu de granulație 180, 150 și 46 (fig. 15.3.20). Honuirea se poate face după două metode și anume, fie prin apăsarea constantă a honului pe roata dințată care se prelucrează, cu o presiune de $0{,}5 \div 1{,}5$ N/mm^2 fie prin crearea unui spațiu lateral de 0,1—0,2 mm între dinții în angrenare (confecționînd dinții honului mai subțiri cu 0,1—0,2 mm) și producerea unei forțe de frînare de 50—150 N, asupra honului dacă el este condus și roata dințată este conducătoare sau invers. Productivitatea honuirii s-a constatat că este funcție în primul rînd de viteza mișcării relative dintre dinții în angrenare și în al doilea rînd de momentul de frînare. Viteza mișcării relative se poate varia prin variația fie a vitezei periferice, fie a unghiului de încrucișare a axelor honului și a roții dințate.

Pentru ca honuirea să se facă pe întreaga lungime a dinților roții dințate este necesară realizarea unui avans longitudinal de la 45—110 mm/min. Mărimea avansului longitudinal nu influențează asupra productivității. Cu un hon cu diametrul exterior de 220 mm, lățimea coroanei dințate de 40 mm, modulul $m = 4$ mm, cu 49 dinți cu unghiul de angrenare $\alpha = 20°$ și cu înclinația dinților $\beta = 22°36'16''$, s-au honuit roți dințate cu diametrul exterior de 120 mm, lățimea coroanei dințate de 30 mm, modulul $m = 4$ mm, cu 28 dinți și cu unghiul de angrenare $\alpha = 20°$. Dantura roților dințate a fost călită superficial cu C.I.F. Honuirea s-a făcut pe o mașină de șeveruit model 5714 căreia i-a fost adaptat un sistem de frînare. (În fig. 15.3.21 este prezentată o mașină modernă de honuit dantura.)

Regimul de lucru a fost următorul: viteza periferică $v = 195$ m/s, viteza mișcării relative $v_r = 1{,}39$ m/s, avansul longitudinal $s_{long} = 87$ mm/min, numărul curselor duble egal cu 2—6, iar unghiul de încrucișare al axelor egal cu 23°. Cu acest regim de lucru timpul de mașină pentru honuirea unei roți dințate a variat între 40 s și 3 min.

Scanned with OKEN Scanner

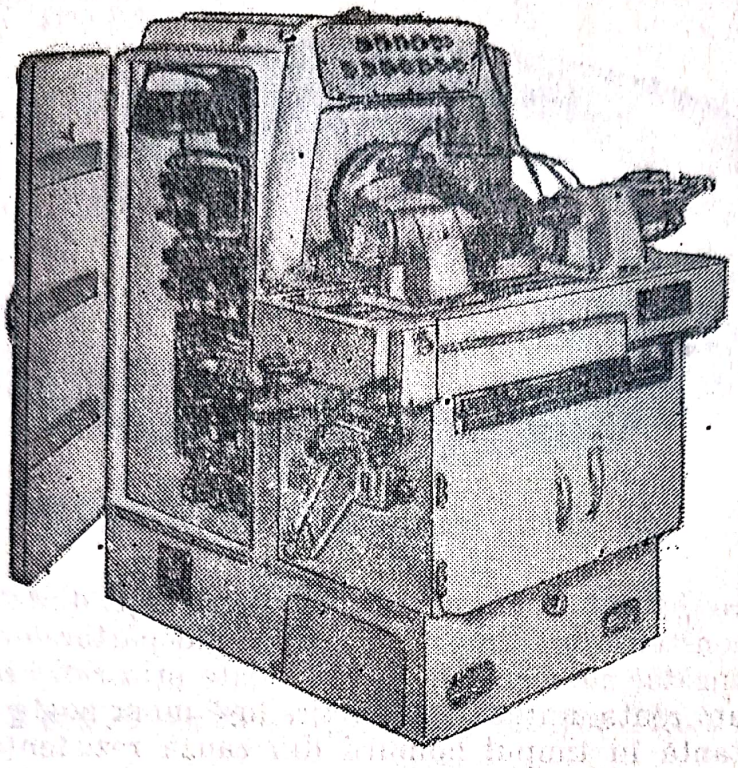


Fig. 15.3.21. Mașină de honuit dantură.

Pentru mărirea productivității se poate mări viteza periferică pînă la aproximativ 650 m/min, ceea ce duce la mărirea vitezei relative pînă la 4—5 m/s, fără a mări însă unghiul de încrucișare a axelor mai mult de 23° pentru că altfel se strivesc granulele abrazive. Adaosul de prelucrare ce se îndepărtează prin honuire variază între 0,005—0,02 mm pe grosimea dintelui. Această valoare este cu mult mai mică decît toleranța ce se dă la grosimea dintelui, de aceea nu se lasă în mod special adaos de prelucrare pentru honuire.

Așa după cum s-a arătat mai sus, în urma honuirii danturii roților dințate se micșorează zgomotul în funcționare măsurat în decibeli. Caracteristic este faptul că zgomotul se micșorează cu pînă la 5 decibeli în urma honuirii danturii acelor roți dințate la care zgomotul înainte de honuire era foarte mare. Astfel, la roțile dințate la care înainte de honuire zgomotul a fost de 89—90 db, după honuire a scăzut la 84—85 db, adică cu 5 db, pe cîtă vreme la cele la care zgomotul înainte de honuire a fost de numai 84—85 db, după honuire a scăzut la 83—84 fdb, adică cu numai 1 db.

Calitatea suprafeței dinților honuiți se îmbunătățește cu 1—2 clase, adică de la $R_a = 3{,}2—1{,}6$ μm pînă la $R_a = 0{,}8—0{,}4$ μm, în funcție de granulația honului și anume: în urma honuirii cu un hon cu granulație de 180 se obține o rugozitate a suprafeței cuprinsă între $R_a = 0{,}8—0{,}4$ μm, iar în urma honuirii cu un hon cu granulația 46 rugozitatea suprafeței este cuprinsă numai între $R_a = 3{,}2—1{,}6$ μm (fig. 15.3.22).

De asemenea în urma honuirii se ridică și precizia dimensiunilor danturii (pasul peste doi dinți), precum și precizia profilului evolventei dinților, mai ales dacă dantura honului se execută cu o precizie mai mare decît precizia impusă danturii roții dințate.

Introducerea pe scară largă a acestei metode tehnologice înaintate de prelucrare de finisare a danturii roților dințate tratate termic este mult ușurată de faptul că honuirea nu impune necesitatea de a construi o mașină nouă

Scanned with OKEN Scanner

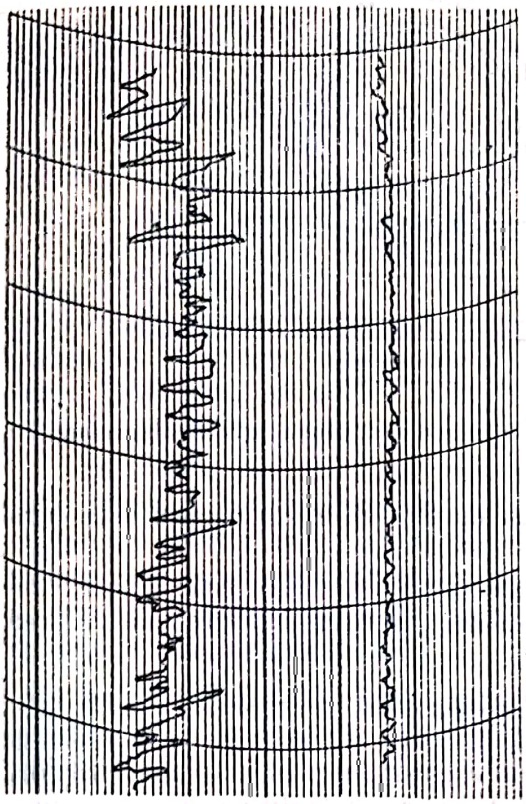


Fig. 15.3.22. Profilograma suprafeței danturii înainte și după honuire.

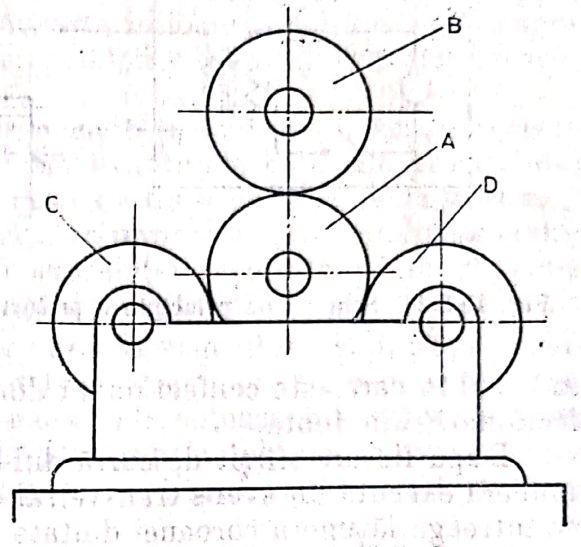


Fig. 15.3.23. Schema rulării danturii.

specială, ci foarte ușor se poate adapta pentru acest scop o mașină de șeveruit, un strung sau o mașină de rectificat cu mici modernizări.

15.3.6.4. **Rularea danturii.** Rularea danturii este o altă metodă de prelucrare de finisare. Se aplică numai la finisarea danturilor netratate termic. Foarte des se utilizează schema rulării cu trei roți dințate etalon ce se rotesc pe trei axe dispuse paralel. În figura 15.3.23 este reprezentat un dispozitiv pentru rularea danturii fixat pe o freză universală, obișnuită.

În întreprinderile constructoare de mașini se întîlnesc și mașini speciale de rulat dantura.

Acțiunea rulării se bazează pe obținerea ecruisării pe suprafața dintelui.

Este demnă de amintit și o metodă combinată; șeveruire cu rodarea. Scula în acest caz este o roată dințată etalon, călită, cu canale pe suprafața dintelui. Acțiunea acestei scule este combinată: ecruisează și în același timp și îndepărtează un strat de metal de pe suprafața dintelui.

Prelucrarea se face pe aceleași mașini ca și rodarea. Această metodă de finisare a danturii este foarte răspîndită în întreprinderile constructoare de mașini.

15.3.6.4.1. *Rularea danturii roților dințate cu dinți drepți prin introducere de curent electric în zona de contact.* Spre deosebire de prelucrarea de finisare a suprafețelor exterioare, interioare și a danturii prin rulare la rece, electrorularea este un procedeu nou [66], a cărui principiu se prezintă pe baza schemei din figura 15.3.24. Roata dințată *1*, a cărei dantură se prelucrează, angrenează cu cremaliera circulară *2* (confecționată din oțel C120 cu duritatea 55 ÷ 60 HRC. Roata dințată și cremaliera sînt conectate la polii transformatorului *3*, cu o putere la bornele circuitului secundar de 650 AV, izolate de corpul mașinii-unelte pe care are loc prelucrarea.

Roata dințată este apăsată pe cremalieră cu o forță F de 150—300 daN și rulează de-a lungul ei (înainte și înapoi) cu o viteză de 130—150 m/min,

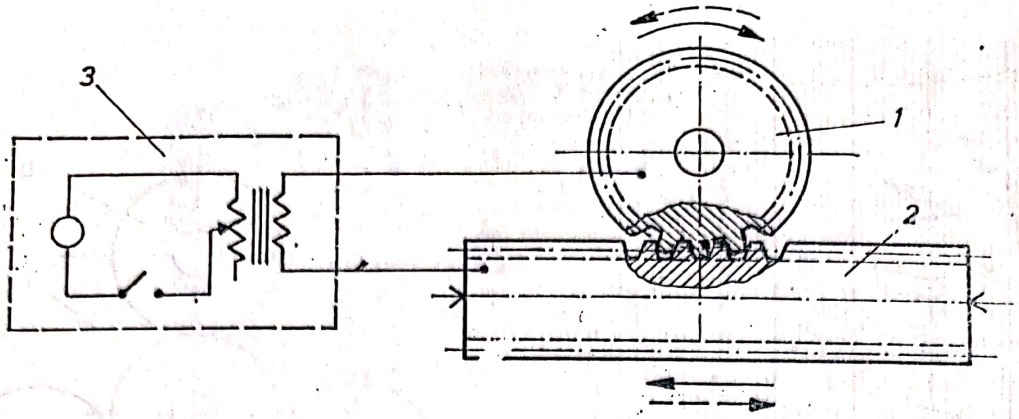


Fig. 15.3.24. Schema de principiu a prelucrării de finisare a danturii prin electrorulare.

în cazul în care este confecţionată din oţel şi cu 60—80 m/min cînd este confecţionată din fontă.

După fiecare sfîrşit de cursă dublă masa maşinii pe care este fixată cremaliera execută un avans transversal de 1—2 mm, pentru a se efectua rularea pe întreaga lăţime a coroanei dinţate a roţii.

Curentul electric din circuit are intensitatea de 1 000—5 000 A iar tensiunea 1,5—5 V. În zona de contact a dinţilor roţii dinţate şi a cremalierei are loc o încălzire locală a stratului superficial a suprafeţei flancurilor dinţilor, lucru care uşurează aplatizarea microasperităţilor, ajungîndu-se de la o rugozitate iniţială $R_a = 6{,}3$ μm la $R_a = 0{,}8 - 1{,}6$ μm.

La prelucrarea de finisare a danturii roţilor dinţate prin rulare funcţie de temperatura în zona de contact a dinţilor T (°C) şi de gradul de deformare al materialului (ε), se poate obţine:

— o deformare plastică *la rece* cu ecruisarea stratului superficial care apare la temperaturi inferioare tenperaturii de regenerare şi recristalizare a materialului;

— o deformare plastică la semicald, cu ecruisarea parţială a stratului superficial, specifică temperaturilor de recristalizare;

— deformare plastică la cald, la temperaturi superioare celei de recristalizare a grăunţilor, cînd ecruisarea stratului superficial al materialului nu are loc, cu numai o aplatizare a microasperităţilor, respectiv o netezire a suprafeţei rulate.

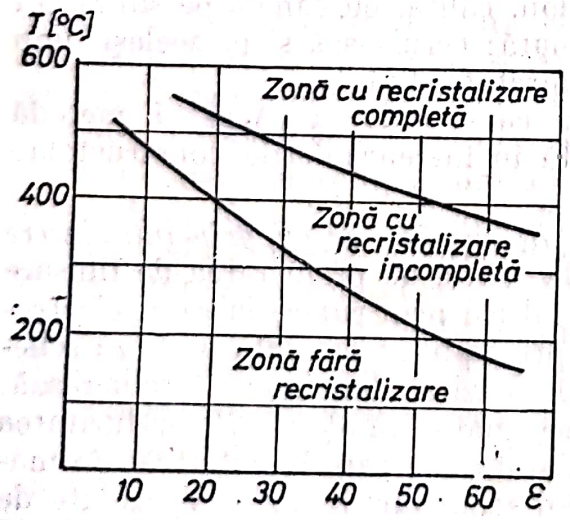


Fig. 15.3.25. Influenţa temperaturii funcţie de gradul de deformare asupra procesului de recristalizare.

În diagrama din figura 15.3.25 este reprezentată influenţa temperaturii funcţie de gradul de deformare a materialului (ε) asupra procesului de recristalizare.

La prelucrarea de finisare a danturii prin electrorulare este foarte important, ca temperatura care apare în zona de deformare ca urmare, în primul rînd a fenomenului Joule, să se situeze sub limita de recristalizare. În acest caz are loc ecruisarea stratului superficial al suprafeţei dinţilor cu parametrii fizico-mecanici

Scanned with OKEN Scanner

superiori (rezistenţă ridicată la uzură, la strivire şi încovoiere) şi în acelaşi timp se obţine şi un grad ridicat de netezime a suprafeţei.

Forţa de apăsare F a roţii dinţate pe cremalieră are un rol decisiv asupra parametrilor obţinuţi la electrorulare. Aceasta influenţează nu numai asupra calităţii suprafeţei ci în special şi asupra durităţii şi grosimii stratului superficial deformat plastic.

Influenţa forţei de apăsare F asupra calităţii suprafeţei ecruisate este reprezentată în figura 15.3.26. Unul dintre avantajele mari ale procedeului prin electrorulare (în zona de temperaturi în care nu se produce recristalizarea) constă în creşterea considerabilă a durităţii ca urmare a fenomenului de ecruisare. Duritatea stratului superficial al suprafeţei ecruisate pe o adîncime de 0,4—0,5 mm creşte cu 130—140% faţă de duritatea iniţială.

În figura 15.3.27 este reprezentată variaţia rugozităţii suprafeţei ecruisate, funcţie de tensiunea de lucru a curentului electric. După cum se observă, creşterea relativ mică a tensiunii curentului influenţează într-o foarte mare măsură asupra aplatizării microasperităţilor suprafeţei, deoarece aşa cum se cunoaşte tensiunea influenţează direct proporţional asupra căldurii care se degajă în zona de contact.

15.3.6.5. **Rodarea danturii roţilor dinţate.** De obicei la rodarea roţilor dinţate se transmite un moment de torsiune oarecare fie prin perechea de roţi dinţate care se rodează, fie prin roata motoare şi roata-sculă de rodat.

Printr-o astfel de rodare a unei perechi de roţi dinţate se îmbunătăţeşte calitatea suprafeţei dinţilor, se micşorează erorile de pas, însă se micşorează mai puţin eroarea ciclică şi aproape nu se schimbă eroarea cumulată a pasului circular. Regimul de rodare se alege din condiţia că dinţii *proeminenţi* se uzează artificial mai repede decît cei *rămaşi în urmă*. Efectul de corectare a erorilor este funcţie de diferenţa vitezei de rodare a dinţilor *proeminenţi* şi a celor *rămaşi în urmă*.

O precizie cinematică ridicată se poate obţine prin rodare, utilizînd o transmisie prin fricţiune cu ajutorul unor discuri cilindrice netede cu diametrele egale cu diametrele primitive ale roţilor dinţate. Discurile *1* şi *2* (fig. 15.3.28) sînt fixe pe axele pe care sînt fixate şi roţile dinţate *3* şi *4*. Axul uneia din roţi *5* nu se poate deplasa din poziţia lui. Celălalt ax *6* fixat în lagărul *7* se poate deplasa odată cu aceasta datorită forţei aplicată asupra lui printr-un resort care nu se vede în figura 15.3.28. Această deplasare este necesară pentru a se asigura contactul strîns între discurile de fricţiune.

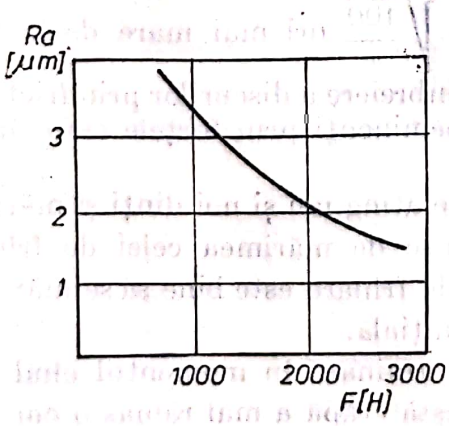


Fig. 15.3.26. Variaţia calităţii suprafeţei funcţie de forţa de apăsare.

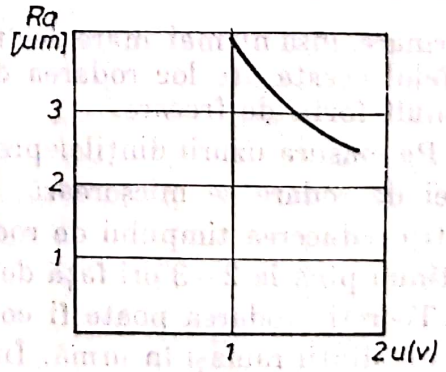


Fig. 15.3.27. Variaţia rugozităţii suprafeţei ecruisate funcţie de tensiunea curentului electric.

Scanned with OKEN Scanner

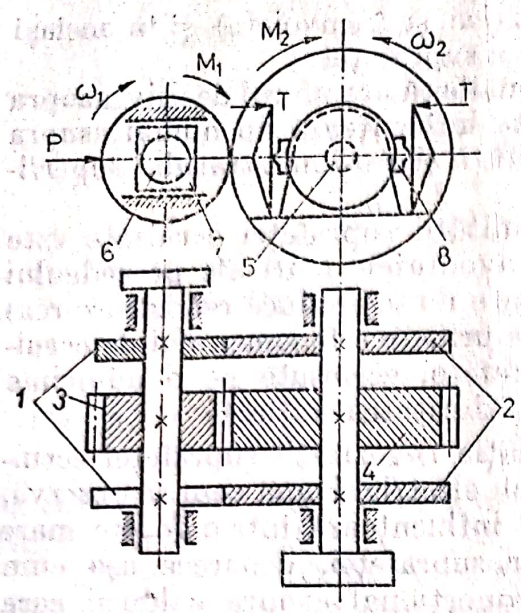


Fig. 15.3.28. Transmisie prin fricţiune pentru rodarea danturii.

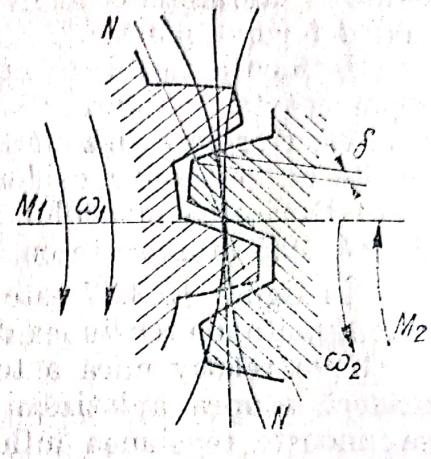


Fig. 15.3.29. Primul moment al procesului de rodare a dinţilor roţilor dinţate pe instalaţia din figura 15.3.28.

În primul moment al procesului de rodare dinţii roţilor dinţate care se rodează nu se ating; între ei există de o parte şi de alta un „întrefier", după cum se vede în figura 15.3.29. Cu tot raportul precis de transmisie a discurilor de fricţiune şi cu forţa destul de mare cu care sînt presate acestea şi cu forţa tangenţială mică, roata dinţată condusă, frînată cu frîna *δ*, va rămîne în urmă din cauza alunecării elastice. Datorită acestui fapt „întrefierul" dintre dinţii roţilor dinţate care se rodează începe să se micşoreze şi în primul rînd ajung în contact cu dinţii proeminenţi. Rodarea dinţilor este intermitentă: pe o parte din drum ($x\%$) are loc rodarea dinţilor, iar restul roţilor dinţate se rotesc fără să se atingă dinţii.

În timpul rotirii fără atingerea dinţilor sub acţiunea forţei tangenţiale de frînare transmisă prin discurile de fricţiune, are loc deja alunecarea elastică amintită, iar în timpul rotirii roţii cu atingerea dinţilor sub acţiunea diferenţei de forţă (de rodare şi frînare) are loc alunecarea inversă. La prima atingere (apropiere) alunecarea elastică este proporţională cu încărcarea tangenţială şi deci, forţa de rodare este de $\sqrt{\frac{100}{x}}$ ori mai mare decît forţa de frînare, însă nu mai mare decît forţa de ambreiere a discurilor prin fricţiune. În felul acesta are loc rodarea dinţilor proeminenţi prin forţele care întrec cu mult forţa de frecare.

Pe măsura uzurii dinţilor proeminenţi se ating noi şi noi dinţi şi mărimea forţei de rodare se micşorează, apropiindu-se de mărimea celei de frînare. Pentru reducerea timpului de rodare forţa de frînare este bine să se mărească continuu pînă la 2—3 ori faţă de valoarea iniţială.

Teoretic rodarea poate fi considerată terminată în momentul cînd s-au atins şi dinţii rămaşi în urmă. Însă, în această etapă a mai rămas o oarecare imprecizie cinematică, ca urmare a alunecării elastice şi de aceea rodarea trebuie să se continue cîtva timp cu o forţă de frînare redusă.

Scanned with OKEN Scanner

Precizia cinematică a roţilor dinţate rodate după această metodă, teoretic depinde numai de precizia discurilor de fricţiune, ceea ce nu este greu de realizat.

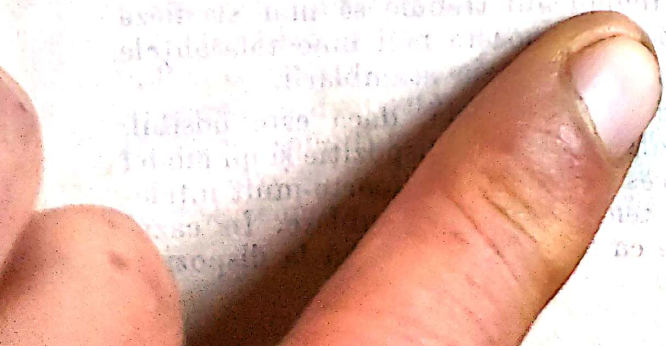
Experienţele făcute au dovedit eficacitatea ridicată a acestei metode de rodare a danturii roţilor dinţate. Astfel, de exemplu, o preche de roți dințate cu dantură *Novikov* ($A = 390$ mm, $B = 152$ mm), $Z = 36$, $Z_2 = 60$, $n_n = 7{,}98 = 11°$), după cementare a avut o eroare la pasul circular de 0,5 mm. După rodarea lor, după metoda descrisă, această eroare s-a redus la 0,05 mm, iar diferenţa între paşii circulari vecini nu a trecut de 0,01 mm.

În ambele cazuri la începutul rodării s-a folosit pastă abrazivă pe bază de praf de carbură de bor M 40, iar spre sfîrşitul rodării praf de electrocorindon M 10.

Datorită faptului că duritatea dinţilor care se rodează este foarte mare (HRC 58-62) şi că stratul de metal care trebuie îndepărtat de pe suprafaţa lor este şi el relativ mare (0,6 mm), timpul de lucru necesar rodării ajunge pînă la 50 ore, rodarea făcîndu-se cu o încărcare specifică a dinţilor de 0,3÷÷0,5 N/mm². Dacă însă precizia danturii obţinută în prelucrările precedente se ridică şi stratul de metal care trebuie îndepărtat de pe suprafaţa dinţilor nu va fi mai mare de 0,1—0,15 mm, timpul necesar pentru rodarea danturii roţilor dinţate cu o duritate ridicată nu va depăşi 10—15 ore.

După metoda prezentată de rodare, se pot roda şi roţile dinţate cu dantură dreaptă, fără să se limiteze mărimea stratului de metal care se îndepărtează şi fără să se deformeze profilul flancurilor dinţilor. Folosirea discurilor de fricţiune nu permite uzura acelor părţi de pe suprafaţa dinţilor care sînt îndepărtate de pol.

Noua metodă de rodare se poate aplica şi pentru rodarea danturii roţilor dinţate conice şi a angrenajelor melc-roată melcată; ea asigură o precizie maximă a profilului danturilor, o productivitate şi o precizie cinematică ridicată.



Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 16

BAZELE TEHNOLOGIEI ASAMBLĂRII ÎN CONSTRUCȚIA DE MAȘINI

Proiectarea procesului tehnologic de asamblare a unui produs este una din etapele principale de pregătire a tehnologiei producției produsului respectiv.

La proiectarea procesului tehnologic de asamblare, la fel ca și la proiectarea procesului tehnologic de prelucrare mecanică a unei piese, trebuie să se țină seama de toate condițiile reale care există în uzină sau atelier.

Procesul tehnologic de asamblare al unui produs trebuie proiectat în mai multe variante, dintre care se alege varianta cea mai economică, care asigură în același timp îndeplinirea tuturor condițiilor tehnice impuse de constructor.

Pentru întocmirea procesului tehnologic de asamblare, inginerul tehnolog trebuie să aibă la dispoziție: desenul de ansamblu, precum și desenele de ansamblu ale diferitelor subansamble ale produsului respectiv; condițiile tehnice impuse de constructor și planul de producție pe an, lună și schimb.

La studiul desenelor de ansamblu poate apare necesitatea unei modificări constructive care să simplifice foarte mult procesul tehnologic de asamblare.

De asemenea, studiind desenul de ansamblu, inginerul tehnolog cunoaște condițiile de lucru ale produsului respectiv, condițiile tehnice impuse de constructor, precum și elementele de reglare cu care la asamblare se poate asigura precizia impusă.

Desenele de ansamblu trebuie să conțină toate datele necesare pentru proiectarea procesului tehnologic de asamblare și anume: numărul de proiecții necesare pentru a se putea înțelege cît mai ușor și mai repede construcția produsului dat: numărul de piese, subansamble și ansamble; nomenclatorul pieselor; toate dimensiunile și toleranțele care trebuie realizate la asamblare; condițiile tehnice speciale care trebuie a fi respectate la asamblare.

În afară de desenele de ansamblu, tehnologul trebuie să mai studieze și desenele de execuție ale pieselor, pentru a cunoaște mai bine toleranțele dimensiunilor acestora, lucru de care depinde precizia asamblării.

La proiectarea procesului tehnologic se recomandă, dacă este posibil, ca tehnologul în afară de desenele de ansamblu să aibă la dispoziție și un model al produsului respectiv, întrucît în felul acesta se ușurează foarte mult înțelegerea desenului și proiectarea procesului tehnologic de asamblare. În cazul cînd acest lucru nu este posibil, este bine ca tehnologul să aibă la dispoziție

Scanned with OKEN Scanner

măcar planurile de operaţii de asamblare ale unor ansamble sau subansamble, ale unor produse asemănătoare.

Un factor deosebit de important de care trebuie să se ţină seama la proiectarea procesului tehnologic de asamblare este planul de producţie, aşa după cum s-a mai arătat, pe an, lună şi schimb. Acesta este factorul care determină caracterul producţiei şi are influenţă asupra gradului de diferenţiere a procesului tehnologic de asamblare în operaţii.

16.1. FORMELE ORGANIZATORICE ALE TEHNOLOGIEI ASAMBLĂRII

În funcţie de tipul producţiei şi de volumul de produse, precum şi de construcţia produsului respectiv, se deosebesc două feluri de forme organizatorice de asamblare: asamblare staţionară şi în flux.

Asamblarea staţionară se caracterizează prin aceea că, întreg procesul de asamblare se execută la un anumit loc de lucru, unde se aduc toate piesele care se asamblează.

Asamblarea staţionară, la rîndul ei, poate fi de două feluri: asamblare care se realizează nemijlocit din piese singulare şi asamblare care se realizează din subansamble.

După prima formă organizatorică de asamblare, asamblarea se face de la început şi pînă la sfîrşit de către o singură echipă de muncitori. Această formă organizatorică se caracterizează prin varietatea mare de lucrări pe care le execută fiecare muncitor, precum şi prin durata mare a ciclului de asamblare. Ea se aplică mai ales în producţia individuală şi de serie mică sau la asamblarea prototipurilor.

După cea de a doua formă organizatorică de asamblare staţionară, asamblarea generală a produsului se face de asemenea de către o singură echipă de muncitori, însă din subansamble care la rîndul lor au fost asamblate de un număr oarecare de brigăzi de muncitori la diferite locuri de muncă.

După această metodă durata ciclului de asamblare se reduce mult în comparaţie cu prima metodă. Această metodă de asamblare foarte des se întîlneşte în atelierele de reparaţii de maşini.

O formă organizatorică mult mai înaintată, mai productivă este asamblarea pe linii tehnologice în flux şi pe linii automate. Această formă organizatorică de asamblare se caracterizează prin aceea că întreg procesul tehnologic se desfăşoară continuu şi produsul asamblat părăseşte linia tehnologică de asamblare la intervale egale de timp, egale cu ritmul liniei.

Organizarea procesului tehnologic de asamblare pe linii tehnologice în flux impune: divizarea procesului tehnologic de asamblare în operaţii care să se execute la cîte un loc de muncă dispus în ordinea succesiunii operaţiilor; mecanizarea şi automatizarea proceselor de asamblare, precum şi a transportului produsului ce se asamblează; asigurarea aprovizionării fiecărui loc de muncă cu piese; dotarea fiecărui loc de muncă cu întreg completul de scule pentru asamblare şi control.

Organizarea procesului tehnologic de asamblare pe linii tehnologice în flux contribuie la creşterea nivelului tehnico-cultural al muncitorilor, asigură creşterea productivităţii muncii şi a cîştigului lor material, contribuie la îmbunătăţirea condiţiilor de muncă prin introducerea progresului tehnic.

Astăzi şi în industria noastră constructoare de maşini se organizează procese tehnologice, atît cele de prelucrare, cît şi cele de asamblare, pe linii

Scanned with OKEN Scanner

tehnologice în flux continuu cu un grad tot mai înalt de mecanizare și automatizare.

Tehnologia de asamblare în flux continuu poate fi organizată în două forme și anume:

1 — asamblarea în flux continuu cu transportul produsului ce se asamblează de la un loc de muncă la altul cu ajutorul unor instalații mecanice, rolganguri, cărucioare ce se deplasează pe o cale cu șine;

2 — asamblarea în flux continuu cu deplasare intermitentă sau continuă a produsului ce se asamblează de la un loc de muncă la altul. Deplasarea poate fi realizată prin benzi rulante, conveioare lamelare, cu lanț sau cu ajutorul cărucioarelor antrenate de un lanț continuu. Atunci cînd numărul operațiilor este mic, transportul produsului ce se asamblează sau al pieselor se poate face cu ajutorul unui conveior carusel.

În lungul liniei tehnologice, după anumite operații mai ușor succeptibile a fi reb utate se prevăd posturi de control.

Viteza de deplasare a benzii rulante în cazul deplasării ei continue se determină după relația:

$$v = \frac{L + l}{R_l} \text{ m/min}, \qquad (16.1.1)$$

unde L este lungimea corpului produsului ce se asamblează, corp pe care la fiecare post de lucru se asamblează o piesă sau numărul de piese necesare, în m; l — distanța dintre două produse așezate pe banda rulantă, în m; R_l — ritmul de lucru al liniei, în min.

Alegerea modului de transport al pieselor de la un loc de muncă la altul și anume: conveior cu deplasarea continuă sau intermitentă, se face într-o serie de cazuri în funcție de posibilitatea și comoditatea executării asamblării pe conveior cu deplasarea continuă, precum și funcție de mărimea ritmului liniei. Este absolut necesar însă a arăta că timpul consumat cu deplasarea periodică a conveiorului este în fond timp pierdut (timp mort) și în unele cazuri chiar foarte mare. Mărimea acestui timp se determină după relația:

$$t_{mg} = \frac{l}{vR_l}, \qquad (16.1.2)$$

unde t_{mg} este timpul de mers în gol al conveiorului, în %; l — lungimea între 2 produse pe banda locului de muncă unde se execută asamblarea; v — viteza de deplasare a conveiorului, în m/min; R_l — ritmul liniei exprimat în min/buc.

După cum se vede din relația de mai sus, mărimea timpului de mers în gol este cu atît mai mică, cu cît mărimea ritmului liniei este mai mare.

De exemplu, dacă $l = 4$ m/min, iar ritmul liniei $R_l = 3{,}2$ min/buc, rezultă că:

$$t_{mg} = \frac{l}{vR_l} 100 = \frac{4}{5 \cdot 3{,}2} \cdot 100 = 25\%. \qquad (16.1.3)$$

Mărimea timpului de mers în gol, în acest caz, este mult prea mare și de aceea trebuie să se reproiecteze procesul tehnologic de asamblare, divizîndu-l în operații în așa fel, încît ritmul liniei să fie mult mai mare. De exemplu, pentru ca mărimea timpului de mers în gol să nu întreacă 5%, ritmul va trebui să fie gal cu:

$$R_l = \frac{l}{vt_{mg}} 100 = \frac{4}{5 \cdot 5} 100 = 16 \text{ min/buc}. \qquad (16.1.4)$$

Scanned with OKEN Scanner

Deci este necesară o grupare a operațiilor în așa fel încît la un loc de muncă să se execute un volum mai mare de muncă.

În acest caz și lungimea liniei tehnologice va fi mai mică, făcîndu-se astfel economie de spațiu.

Pentru a se atrage atenția muncitorilor asupra timpului pe care-l mai au la dispoziție înspre sfîrșitul perioadei de timp de lucru, la fiecare loc de muncă este bine a se instala un sistem de semnalizare cu becuri. Cu 3 min, de exemplu înainte ca, conveiorul să se deplaseze se aprinde un bec de culoare albastră, iar cînd a mai rămas doar 1 min pînă ce conveiorul se deplasează se aprinde un bec roșu. În felul acesta muncitorului, dacă din diferite motive a rămas în urmă cu executarea asamblării, i se atrage atenția să accelereze lucrul, altfel riscă să rămînă cu lucrul neterminat înainte de deplasarea conveiorului.

În industria constructoare de mașini din țări cu o tehnică înaintată în producția de masă au fost de mult timp introduse în exploatare și linii tehnologice de asamblare automate. Astfel de exemplu în Uzinele de rulmenți din Moscova există linii tehnologice pe care se face sortarea automată a elementelor rulmenților, asamblarea și controlul automat al rulmenților.

16.2. ALGORITMUL ELABORĂRII PROCESELOR TEHNOLOGICE DE ASAMBLARE

Elaborarea procesului tehnologic de asamblare se începe cu stabilirea schemei principale de asamblare a produsului și a planului de operații de asamblare, care indică numărul de operații și succesiunea lor, incluzîndu-se bine înțeles și operațiile de control și reglaj.

La întocmirea planului de asamblare o importanță deosebită o are împărțirea în grupe, subansamble și ansamble a pieselor care urmează a se asambla. Dacă acest lucru nu se face în mod corespunzător, atunci apar greutăți foarte mari la asamblare sau chiar imposibilitatea asamblării.

În legătură cu stabilirea succesiunii operațiilor la asamblare este necesar a se ține seama de următoarele considerații:

1 — operațiile precedente nu trebuie să împiedice executarea (realizarea) operației curente;

2 — după operațiile sau fazele susceptibile a fi rebutate sau după operațiile foarte importante se impune introducerea unei operații de control și elaborarea unor măsuri profilactice împotriva rebuturilor;

3 — pe cît posibil să se evite operațiile de ajustare, iar la asamblare, de exemplu a mașinilor agregat, să se prevadă operații pentru rodaj și încercare a unor ansamble (a pompelor de ulei, lichid de răcire etc.).

Divizarea procesului tehnologic de asamblare în operații se face ținînd seama de posibilitățile tehnologice reale ale producției, de volumul de muncă pentru asamblarea produsului T_{ta}, de planul de producție pe schimb de lucru (P_{pa}), de durata lucrului dintr-un schimb T_s, precum și de alți factori de producție.

Numărul orientativ de operații q_{or} în care trebuie să se dividă procesul tehnologic de asamblare, se poate determina în funcție de factorii enumerați mai sus, după următoarea relație:

$$q_{or} = \frac{T_{ta} P_{pa}}{T_s}. \qquad (16.2.1)$$

Scanned with OKEN Scanner

Este absolut necesar a se face remarca că divizarea procesului tehnologic de asamblare nu se poate baza numai pe un calcul aritmetic.

La divizarea procesului tehnologic în operații trebuie în primul rînd să se plece de la posibilitatea divizării lui din punct de vedere tehnologic. De asemenea această divizare trebuie să permită aplicarea tehnicii moderne, să ușureze la maximum munca muncitorului și să asigure în același timp mărirea productivității muncii, a calității și preciziei produsului, precum și scăderea costului.

La calculul orientativ al numărului de operații q_{or} se poate întîmpla să se obțină un număr de operații mai mare sau mai mic decît numărul de operații q în care poate fi divizat din punct de vedere tehnologic procesul tehnologic de asamblare, adică:

$$q_{or} > q_{teh} \text{ sau } q_{or} < q_{teh}. \tag{16.2.2}$$

Atunci cînd q_{or} este mai mare de un număr întreg de ori decît q_{teh}, asamblarea se face pe linii paralele în flux, pentru a se putea asigura îndeplinirea planului de producție. Atunci cînd diferența dintre q_{or} și q_{teh} nu este prea mare, adică cînd:

$$q_{or} = \beta q_{teh}, \tag{16.2.3}$$

unde: $1 < \beta < 2$. Pentru a apropia coeficientul de un număr întreg (1 sau 2) se folosește metoda schimbării volumului de muncă pentru realizarea produsului dat.

Dacă $q_{or} < q_{teh}$, atunci reiese că nu există nici o dificultate tehnologică în divizarea procesului tehnologic de asamblare în operații. Astfel, la divizarea procesului tehnologic în operații este necesar a se stabili numărul de operații plecînd de la o analiză adîncă a celor mai importanți factori, care definesc indicii tehnico-economici ai lucrului pe linii tehnologice în flux. Cu alte cuvinte, este necesară folosirea tuturor posibilităților multilaterale pentru mărirea productivității și îmbunătățirii calității.

Mărimea de bază de la care se pleacă la proiectarea asamblării pe linii în flux, este ritmul liniei tehnologice.

La un același fond de timp mărimea ritmului liniei tehnologice scade, pe măsură ce se mărește producția. Dacă producția P_{ps} devine foarte mare, valoarea ritmului liniei tehnologice se micșorează atît de mult, încît devine nerațional a face asamblarea produsului pe o singură linie. În acest caz se recomandă ca asamblarea să se facă pe două sau mai multe linii în flux continuu, paralele. Pentru a se asigura obținerea producției impuse P_{ps}, este necesar în calculul ritmului liniei tehnologice a se ține seama și de rebutul care poate să apară, precum și de produsele care sînt readuse pe linie pentru îndepărtarea unor erori apărute la una din operațiile precedente. Pentru a se asigura producția maximă, timpul de lucru la fiecare loc de muncă trebuie să fie egal sau cît mai apropiat posibil de ritmul liniei. Pentru a nu avea strangulări în lungul liniei tehnologice, este necesar a se mări ritmul calculat al liniei pînă la timpul de lucru al operațiilor la care avem strangularea. În acest caz însă, producția obținută a liniei este mai mică cu mult decît în cazul cînd timpul de lucru la fiecare loc de muncă este egal sau mai mic decît ritmul calculat.

Astfel, dacă de exemplu procesul tehnologic de asamblare al unui produs oarecare este compus din 60 operații și numai 4 operații au timpul de lucru mai mare cu 20 s decît mărimea ritmului calculat (50 s), atunci producția realizată într-un schimb de lucru (8 ore) este egală cu 480 buc. Dacă însă se

Scanned with OKEN Scanner

iau toate măsurile necesare pentru a reduce timpul de lucru la cele 4 operații, unde a fost strangularea în așa fel încît el să fie mai mic sau chiar egal cu mărimea ritmului liniei, atunci producția liniei realizată într-un schimb de lucru va fi egală cu 576 buc.

Deci, după cum se vede, producția liniei tehnologice scade foarte mult la o abatere relativ mică de la ritmul calculat al liniei tehnologice.

La proiectarea liniei tehnologice însă, se admite o abatere de $\pm 10\%$ de la mărimea ritmului, urmînd ca în timpul desfășurării procesului tehnologic această abatere să se micșoreze la maximum, pentru a se ajunge la o sincronizare perfectă.

Sincronizarea operațiilor se poate realiza prin mai multe metode și anume:

1 — prin introducerea tehnicii noi la fiecare loc de muncă, repartizarea judicioasă a forței de muncă și organizarea rațională a locului de muncă;

2 — prin gruparea operațiilor în așa fel încît timpul de lucru la fiecare loc de muncă să fie egal sau cît mai apropiat de mărimea ritmului liniei;

3— prin aplicarea în practică a celor mai moderne metode de asamblare, a celor mai moderne dispozitive și scule;

4 — prin aplicarea în practică a acelor metode de asamblare care să reducă cu maximul posibil timpul auxiliar la fiecare operație.

Aplicarea continuă în practică a metodelor enumerate și a altora, ajută la creșterea necontenită a productivității liniei și scăderii costurilor de producție.

Timpul de lucru pentru realizarea fiecărei operații de asamblare se determină prin normarea tehnică. Normarea se poate face analitic, comparativ sau după normative.

Factorii care influențează asupra timpului de lucru pentru asamblare sînt foarte diferiți. Astfel de exemplu, timpul necesar pentru presarea unei piese într-o altă piesă este funcție de diametrul și lungimea piesei, de calitatea ajustajului, de modul cum se realizează presarea (la cald sau rece), de utilajul și dispozitivele folosite, de greutatea piesei etc.

Timpul de lucru pentru fiecare operație se compune (ca și în cazul prelucrării mecanice) din: — timpul de bază τ_0 în care are loc efectuarea nemijlocită a procesului tehnologic de asamblare; timpul auxiliar τ_a consumat cu diverse acțiuni care ajută la efectuarea lucrului de asamblare; timpul de deservire τ_{des} a locului de muncă în decursul unui schimb de lucru; timpul consumat cu întreruperile lucrului τ_{in} pentru odihna și satisfacerea necesităților firești ale muncitorului.

La normarea tehnică a lucrului de asamblare este în foarte multe cazuri greu să se facă delimitarea precisă între timpul de bază de mașină și cel auxiliar și de aceea acești timpi se contopesc în timpul operativ ($\tau_{bm} + \tau_a = \tau_{op}$). Dacă timpul de deservire τ_{des} și cel de întreruperi τ_{in}, adică $\tau_{des} + \tau_{in}$ se exprimă în procente „a“ din timpul operativ, atunci timpul de lucru pentru o operație este egal cu:

$$\tau_{lo} = \tau_{op}\left(1 + \frac{a}{100}\right). \qquad (16.2.4)$$

În cazul cînd timpul de lucru pentru o operație τ_{eo} nu este egal cu ritmul liniei, ci mult mai mare și operația nu poate fi divizată pentru ca o parte din ea (una sau mai multe faze) să se execute la un alt loc de muncă (în cadrul altei operații), atunci la această operație se mai adaugă una sau mai multe faze de la o altă operație, în așa fel încît timpul de lucru necesar pentru executarea ei să fie de două ori mai mare decît ritmul liniei. În acest caz operația

Scanned with OKEN Scanner

respectivă se va executa la două locuri de muncă sau la un singur loc de muncă de către doi muncitori.

Numărul de locuri de muncă în care se divide o operație complexă se determină după relația simplă:

$$n = \frac{\tau_{lo}}{R_l}, \tag{16.2.5}$$

în care R_l reprezintă ritmul liniei tehnologice de asamblare, în min/buc.

Etapa următoare în proiectarea procesului tehnologic de asamblare constă în determinarea utilajului și a forței de muncă. Numărul de muncitori la fiecare loc de muncă K_m se determină în funcție de volumul de muncă necesar executării operației respective, în funcție de greutatea și dimensiunile pieselor ce se asamblează, precum și de productivitatea fiecărei operații.

$$k_m = \frac{Q}{\tau}\tau_{lo}, \tag{16.2.6}$$

unde Q este productivitatea în unitatea de timp (oră, sau schimb); τ — timpul de lucru la care se referă productivitatea (oră sau schimb) exprimat în min.; τ_{lo} — timpul de lucru necesar pentru executarea operației, în min.

Aprecieri asupra unui proces tehnologic de asamblare proiectat la alegerea variantei optime sau la compararea procesului tehnologic proiectat cu alte procese tehnologice de asamblare proiectate pentru asamblarea unor produse similare se poate face cu ajutorul următorilor indici:

1 — coeficientul de încărcare a fiecărui loc de muncă. El se determină după relația:

$$\eta = \frac{\tau_{lo}}{R_l K_m}. \tag{16.2.7}$$

2 — coeficientul de încărcare a liniei de asamblare care este:

$$\eta_{li} = \frac{1}{m}\sum_{1}^{m}\eta, \tag{16.2.8}$$

unde m este numărul de locuri de muncă de pe linia de asamblare.

3 — coeficientul φ_{as} care exprimă volumul de muncă de asamblare prin raportul dintre volumul de muncă al procesului de asamblare (τ_{as}) și volumul total de muncă al proceselor de producție a tuturor pieselor care se asamblează (τ_{ppa}):

$$\varphi_{as} = \frac{\tau_{as}}{\tau_{ppa}}. \tag{16.2.9}$$

Acest coeficient caracterizează procesul de producție al fabricatului în întregime. Cu cît este mai mică valoarea coeficientului φ_{as} cu atît mai bună a fost legătura dintre prelucrarea și asamblarea pieselor. Însă este necesar a se preciza că mărirea productivității muncii la confecționarea pieselor micșorează valoarea volumului total de muncă al proceselor de producție a tuturor pieselor și mărește astfel valoarea coeficientului φ_{as} dacă nu se iau măsuri corespunzătoare pentru micșorarea în același timp și a volumului de muncă pentru efectuarea procesului de asamblare τ_{as}. În legătură cu aceasta se arată că valoarea coeficientului φ_{as} variază în limite relativ mari și anume: 0,1~0,4 și chiar mai mult.

Scanned with OKEN Scanner

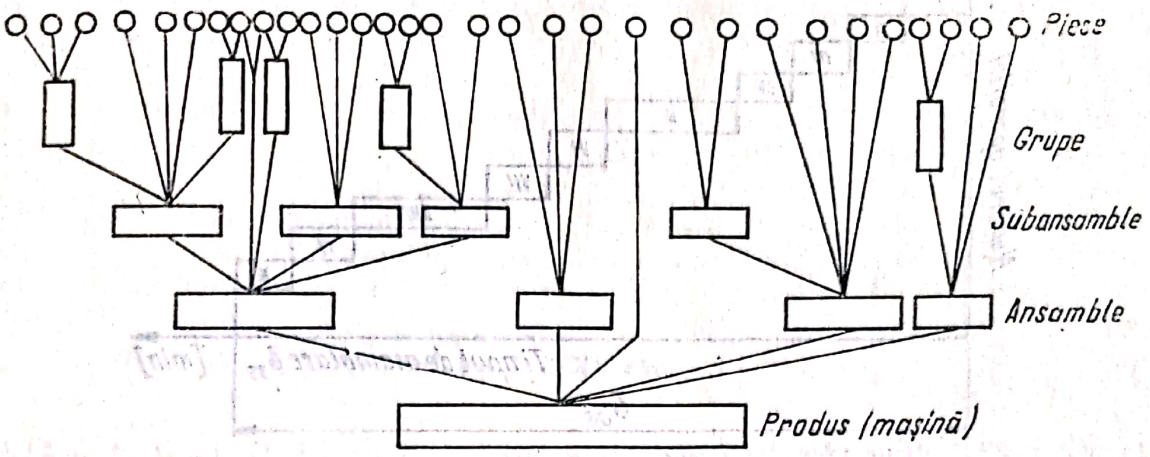


Fig. 16.2.1. Schemă de asamblare.

Coeficientul φ_{as} își pierde importanța în cazul cînd la executarea produsului respectiv cooperează mai multe întreprinderi.

În acest caz se folosește un alt coeficient și anume:

4 — coeficientul φ_{pc}, care exprimă raportul dintre costul asamblării K_{as} și costul produsului în întregime K_{total} (care include bineînțeles și costul asamblării):

$$\varphi_{pc} = \frac{K_{as}}{K_{total}}. \qquad (16.2.10)$$

Acest coeficient caracterizează mult mai bine valoarea specifică a asamblării în raport cu întreg procesul de producție al produsului respectiv.

Unul din documentele cele mai importante ale procesului tehnologic de asamblare este schema de asamblare a produsului.

Schema de asamblare arată celor care execută asamblarea, care este succesiunea operațiilor, ajută la organizarea producției și la introducerea tehnicii noi la diversele locuri de muncă.

Un exemplu de schemă de asamblare se vede în figura 16.2.1.

Analizînd schema de asamblare din figura 16.2.1, se vede că piesele singulare cu numerele de ordine din nomenclatorul de piese de pe desenul de ansamblu, se asamblează în *grupe*, care la rîndul lor se asamblează în alte piese și formează *subansamble*. Subansamblele se pot asambla fie direct pe corpul principal al produsului, fie între ele, formînd *ansamble*, care apoi se asamblează și ele pe corpul principal al produsului respectiv.

Un alt document important al procesului tehnologic este ciclograma de asamblare care se întocmește după ce a fost construită schema de asamblare și s-a făcut normarea tehnică pentru fiecare operație. Un exemplu de ciclogramă de asamblare a unui produs oarecare este redat în figura 16.2.2.

În ciclograma reprezentată în figura 16.2.2 se vede atît succesiunea operațiilor cît și timpul de lucru necesar pentru asamblare la fiecare operație. Se vede că pentru operațiile V și VIII timpul de lucru este dublu decît pentru celelalte operații.

În afară de schema și ciclograma de asamblare un alt document al procesului tehnologic de asamblare este planul de operații de asamblare.

În planul de operații se indică:

1 — numărul și denumirea părții ce se asamblează și a operației;

2 — fiecare fază a operației și schița respectivă prevăzută cu dimensiunile și toleranțele ce trebuie realizate în operația și faza dată;

Scanned with OKEN Scanner

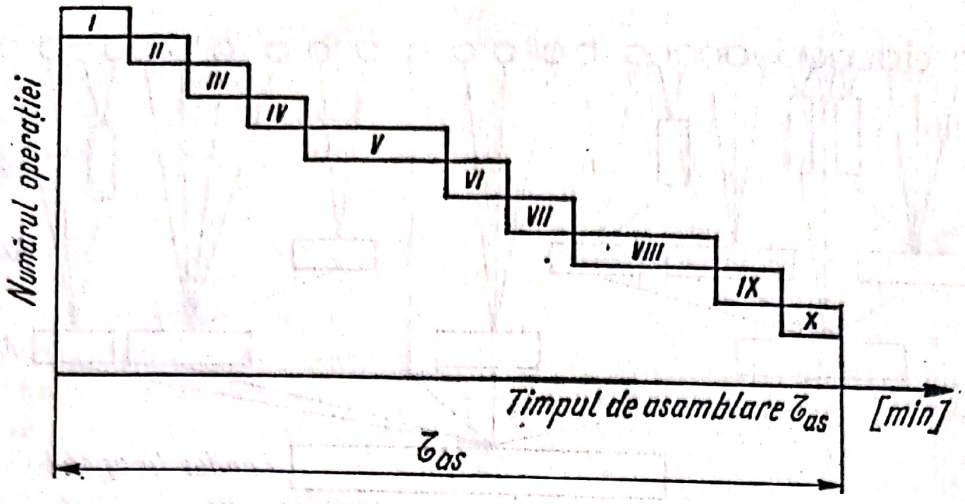


Fig. 16.2.2. Ciclogramă de asamblare.

3 — sculele și dispozitivele utilizate;
4 — modul de curățare și spălare a pieselor;
5 — norma de timp pentru fiecare fază a operației;
6 — instrumentele și verificatoarele de control;
7 — condițiile tehnice ce trebuie respectate la asamblare în operația sau faza respectivă.

Procesul tehnologic de asamblare este necesar a fi mereu analizat în decursul procesului de lucru, pentru a i se aduce îmbunătățirile necesare în vederea ridicării continue a productivității muncii, scăderii costurilor și a îmbunătățirii calității produsului ce se asamblează.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. Albu, A. şi alţii, *Programarea asistată de calculator a maşinilor unelte*. Editura tehnică, Bucureşti, 1980.
2. Armarego, E. J. A., Brown, R. H., *The machining of metals*. Prentice-Hall Inc. 1969.
3. Balaksin, A. S., *Osnovi tehnologii maşinostroenia*, Moskva, Maşghiz, 1966.
4. Bellman, R. E., Dreyfus, S. E., *Programarea dinamică aplicată* (trad. din l. engleză).
5. Boiangiu, G., *Contribuţii la reglarea automată a regimului de aşchiere la maşinile de frezat universale*. Teză de doctorat, Braşov, 1970.
6. Boeriu, D., *Proiect de diplomă* (îndrumător Drăghici, G.). Universitatea din Braşov, 1984.
7. Buzatu, C., *Contribuţii la studiul factorilor care afectează creşterea preciziei pieselor prelucrate prin strunjire şi rectificare exterioară*. Teză de doctorat (conducător şt. Drăghici, G.), Braşov, 1981.
8. Boothoroyd, G., *Fundamentals of metall machining*. Ed. Edward Arnold, Londra, 1965.
9. Brierly, R. G., Siekmann, H. J., *Machining principles and cost contrd*. McGraw-Hill Book Company, New York, 1964.
10. Chiriacescu, T. S., *Calculul regimului de aşchiere cu parametrii variabili*. Construcţia de maşini, nr. 11, 1971.
11. Chiriacescu, T. S., *Dinamica şi stabilitatea maşinilor-unelte*, Editura Academiei R.S.R., Bucureşti, 1984.
12. Ciocîrdia, C., Zgură, Gh., *Tehnologia prelucrării carcaselor*. Editura tehnică, Bucureşti, 1975.
13. Degner, Lutze, Smejkal, *Spanende Formung*. VEB Verlag Technik, Berlin, 1972.
14. Demianiuk, F. S., *Tehnologiceskie osnovi polocinovo i avtomatizirovanovo proizvodstva*, Maşghiz, Moskva, 1965.
15. Drăghici, G., *Tehnologia construcţiei de maşini*. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1962.
16. Drăghici, G., *Deformaţia termică a cuţitului de strung*. Teză de doctorat, 1955.
17. Drăghici, G., *Studiul preciziei de prelucrare la strunjirea de finisare cu cuţite armate cu plăcuţe mineraloceramice*. Metalurgia şi construcţia de maşini, nr. 7, 1961.
18. Drăghici, G., *Strunjirea de finisare a inelelor de rulmenţi cu cuţite mineraloceramice*. Lucrări ştiinţifice ale Institutului Politehnic Braşov, vol. VI, 1964.
19. Drăghici, G., *Aparat pentru măsurarea uzurii pe faţa de aşezare şi a deformaţiei termice a cuţitului de strung*. Metalurgia şi construcţia de maşini, nr. 2, 1962.
20. Drăghici, G., *Strunjirea de finisare a fontei cu cuţite armate cu plăcuţe mineraloceramice*. Metalurgia şi construcţia de maşini, nr. 9, 1965.
21. Drăghici, G., Chiriacescu, T. S., *Contribuţii la calculul durabilităţii sculelor şi a regimului de aşchiere*. Buletinul Institutului Politehnic Braşov, vol. 10, 1968.

Scanned with OKEN Scanner

42. Dumitru, V., *Programare neliniară*. Editura Academiei R.S.R., București, 1975.
43. Enache, St., *Calitatea suprafețelor prelucrate*, Editura tehnică, București, 1966.
44. Gheghea, I., și alții., *Exploatarea și întreținerea mașinilor-unelte cu comandă după program*. Editura tehnică, București, 1980.
45. Epureanu, Al., și alții., *Tehnologia construcției de mașini*. Editura didactică și pedagogică, București, 1983.
46. Fătu, S., *Proiect de diplomă* (îndrumător Drăghici, G.). Universitatea din Brașov, 1984.
47. Gavrilaș, I., Voicu, N., *Tehnologia pieselor tip arbore, bucșă și disc pe mașini-unelte clasice și cu comandă program*. Editura tehnică, București, 1975.
48. Gleim, G., George, A., *Program flowcharting*. Halt, New York, 1970.
49. Glesos, V. D., *Rezboșlifovanie*. Mașghiz, Moskva, 1960.
50. Hideo, I., Hohsei, H., *Research on High Efficiency Drinding*. Buletin of Mechanical Engineering Laboratory-Japan, nr. 2, 1972.
51. Hollanda, D. și alții., *Așchiere și scule așchietoare*. Editura didactică și pedagogică, București, 1982.
52. Iliescu, Constantin, *Tehnologia presării la rece*. Editura didactică și pedagogică, București, 1984.
53. Ivan, N., *Contribuții la studiul teoretic și experimental al prelucrării electrolitice și al mașinilor-unelte cu avans autoreglabil*. Rezumatul tezei de doctorat, Universitatea din Brașov, 1970.
54. Jakobson, M. O., *Tehnologhia stankostroenia*. Mașghiz, Moskva, 1960.
55. Jakobson, H. J., *Fertigungsorganisatorische Restriktionen der mathematischen Prozessoptimierung in der Teillfertigung*. Technische Universität, Dresden, Reg. Nr. 14/18/75.
56. Kief, H. B., *NC Hand Buch*, 1977.
57. Zetu, D., Biber, Gh., Boncoi, Gh., *Mașini-unelte automate și cu comandă numerică*, Editura didactică și pedagogică, București, 1982.
58. Kolev, K. S., *Voprosi tocinostei pri rezanii metallov*. Mașghiz, Moskva, 1965.
59. Kovan, V. M., *Calculul adaosurilor de prelucrare în construcția de mașini*. Mașghiz, Moskva, 1963.
60. Korsakov, V. S., *Tocinosti mehanicescoi obrabotki*. Mașghiz, Moskva, 1961.
61. Kudinov, V. A., *Dinamica stankov*. Mașghiz, Moskva, 1967.
62. Konovalov, B. G., *Osnovi novih sposobov metalloobrabotki*, Mașghiz, Moskva, 1961.
63. Lăzărescu, I., *Teoria așchierii metalelor și proiectarea sculelor*. Editura didactică și pedagogică, București, 1965.
64. Lăzărescu, I., *Proiectarea sculelor după scula generalizată*. Teză de doctorat, 1968.
65. Losev, S. A., *Mnogoinstrumentalnaia obrabotka frezerovaniem*. Mașghiz, Moskova, 1967.
66. Lokur., *Vibroustocivie rezți*. Mașghiz, Moskva, 1966.
67. Maniu, Al., *Buletinul Institutului Politehnic Brașov*. Vol. IX, 1968.
68. Maliță, M., Dragomirescu, M., *Programarea pătratică și introducere în programarea convexă*. Editura didactică și pedagogică, București, 1969.
69. Matveev, V. V., *Narezanie tocinih rezb*. Mașghiz, Moskva, 1968.
70. Minski, N. A., *Scorosnoe razverivanie tocinih glubochih otverstii*. Mașghiz, Moskva, 1959.
71. Maros, D., *Angrenaje melcate*. Editura tehnică, București, 1965.
72. Marusciac, I., *Programare geometrică și aplicații*. Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1978.
73. Mihoc, G., Ștefănescu, A., *Programare matematică*. Editura didactică și pedagogică, București, 1975.
74. M. I. C. M., *Normative tehnice unificate pe departament, pentru timpi de muncă la prelucrarea pe strunguri normale în producția de unicate și de serie mică*, 1967.
75. M. I. C. M., *Normative tehnice unificate pe departament, pentru regimuri de așchiere și timpi de lucru la prelucrarea pe strunguri normale*, 1967.

Scanned with OKEN Scanner

Codificarea utilajelor şi metodelor tehnologice de prelucrare a arborilor, cu rugozitatea suprafeţei prelucrate, clasa de precizie şi toleranţa fundamentală

Tabelul 3.5.5

PROCEDEUL	CODUL PROCEDEULUI	UTILAJUL	CODUL UTILAJULUI	TIPUL UTILAJULUI	COD TIP UTILAJ	FELUL PRELUCRĂRII	COD PRELUCRARE	RUGOZITATEA ASIGURATĂ (Economică) R_a [μm]	CLASA DE PRECIZIE ISO	TOLERANŢA FUNDAMENTALĂ FUNCŢIE DE UNITATEA DE TOLERANŢĂ „i" [μm]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
STRUNJIRE	1	Strung universal	1.1	- fără dispozitiv hidraulic de copiat	1.1.1	degroşare semifinisare finisare	1.1.1.1 1.1.1.2 1.1.1.3	12,5-50 3,2-12,5	12-13 10-11 10	160i 100i 64i
				- cu dispozitiv hidraulic de copiat	1.1.2	degroşare semifinisare finisare	1.1.2.1 1.1.2.2 1.1.2.3	12,5-50 3,2-12,5 0,8-6,3	11-12 10-11 10	160i 100i 64i
				- de precizie medie	1.1.3	degroşare semifinisare finisare	1.1.3.1 1.1.3.2 1.1.3.3		12-13 10-11 10	 100i 64i
				- de înaltă precizie	1.1.4	degroşare semifinisare finisare cu diamant	1.1.4.1 1.1.4.2 1.1.4.3	12,5-50 3,2-12,5 0,8-6,3	 7-9	64i 40i 25i

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.5.5 (continuare)

STRUNJIRE	1	Strung semiautomat	1.2	-cu sistem hidraulic de copiat	1.2.1	degroșare semifinisare finisare	1.2.1.1 1.2.1.2 1.2.1.3	12,5-50 3,2-12,5 0,8-6,3	12-13 10-11 8-9	160i 100i 40i
				-cu comandă numerică (C.N.)	1.2.2	degroșare semifinisare finisare	1.2.2.1 1.2.2.2 1.2.2.3	12,5-50 3,2-12,5 0,8-6,3	11-12 9-10 7-9	160i 64i 25i
		Strung semiautomat multicuțite	1.3	-cu un arbore	1.3.1	degroșare semifinisare finisare	1.3.1.1 1.3.1.2 1.3.1.3	12,5-50 3,2-12,5 1,6-6,3	11-13 10-11 7-9	160i 100i 25i
				-cu mai mulți arbori verticali	1.3.2	degroșare semifinisare finisare	1.3.2.1 1.3.2.2 1.3.2.3			
FREZARE	2	Strung universal	2.1	-cu freză tubulară	2.1.1	degroșare	2.1.1.1		10-11	
		Mașină specială de frezat arbori	2.2	-cu două complete de freze identice	2.2.1	degroșare	2.2.1.1	25	10	
				-cu două complete de freze diferite (cîte una pentru fiecare treaptă a arborelui)	2.2.2	degroșare	2.2.2.1	25	10	
				-cu freză frontală	2.2.3	degroșare semifinisare finisare	2.2.3.1 2.2.3.2 2.2.3.3	6,3-25 3,2-12,5 1,6-3,2	10-11 10 9-10	

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.5.5 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BROȘARE	3	Mașină specială	3.1	- cu broșă liniară	3 1 1	degroșare	3 1 1.1	50		
				- cu broșă liniară și un dinte de calibrare	3.1.2	semifinisare	3 1 2 2	12,5-25		
				- cu doi dinți de calibrare	3 1.3	finisare	3.1 3.3	6,3		
			3.2	- cu broșă spirală	3.2.1	degroșare	3.2.1.1	50		
				- cu un dinte de calibrare	3.2.2	semifinisare	3.2.2.2	12,5-25		
				- cu doi dinți de calibrare	3.2.3	finisare	3.2 3.3	6,3		
RECTIFICARE EXTERIOARĂ	4	Mașină universală de rectificat între vîrfuri	4.1	- cu un disc cu avans longitudinal	4.1.1	degroșare semifinisare finisare	4.1.1.1 4.1.1.2 4.1.1.3	32-6,3 0,8-1,6 0,2-0,8		
				- cu discul reascuțit cu diamant cu s_e=0,01 mm/rot	4.1.2	finisare	4.1.2.3	0,1-0,05		
		Mașină de rectificat între vîrfuri cu disc lat	4.2	- cu avans transversal	4.2.1	degroșare semifinisare finisare	4.2.1.1 4.2 1.2 4.2.1.3			
		Mașină de rectificat cu mai multe discuri	4 3	- cu avans transversal	4.3.1	degroșare semifinisare finisare	4.3.1.1 4.3.1.2 4.3 1.3			
		Mașină de rectificat cu viteză rapidă de așchiere	4 4	- cu avans transversal	4.4.1	degroșare semifinisare finisare	4.4.1 1 4.4.1.2 4 4.1.3			

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.5.5 (continuare)

	4	Mașină de rectificat exterior fără vîrfuri	4.6	-cu avans longitudinal	4.6.1	degroșare semifinisare finisare	4.6.1.1 4.6.1.2 4.6.1.3		2-1 2-1	
			4.6	-cu avans transversal	4.6.2	degroșare semifinisare finisare	4.6.2.1 4.6.2.2 4.6.2.3		 2-1	
		Mașină specială de rectificat exterior între vîrfuri	4.5	- rectificare electrochimică	4.5.1	finisare	4.5.1.3		1	
Superfinisare	5	Strung universal modernizat	5.1	- cu un dispozitiv cu acționare pneumatică	5.1.1	degroșare semifinisare finisare	5.1.1.1 5.1.1.2 5.1.1.3	0,2-0,1 0,1-0,05 0,05-0,012	0-1 0 01-0	
		Mașină specială de superfinisat	5.2	- cu mai multe dispozitive cu acționare pneumatică	5.2.1	degroșare semifinisare finisare	5.2.1.1 5.2.1.2 5.2.1.3	0,2-0,1 0,1-0,05 0,05-0,012	0-1 0 01-0	
RULARE (def. pl. la rece)	6	Strung modernizat sau mașina de rectificat exterior între vîrfuri	6.1	- cu bile	6.1.1	finisare	6.1.1.3	0,4-0,1		
				- cu role	6.1.2	finisare	6.1.2.3	0,2-0,05		
				- cu disc cu canale radiale cu bile	6.1.3	finisare	6.1.3.3	0,2-0,1		

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.5.5 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LEPUIRE	7	Strung universal	7.1	-cu inel elastic din fontă și pastă abrazivă	7.1.1	finisare	7.1.1.3	0,05-0,012	01-0	
		Mașina specială	7.2		7.2.1	finisare	7.2.1.3	0,05-0,012	01-0	
BURGHIERE	8	Strung universal	8.1	-cu burghiu elicoidal cu avans manual	8.1.1	degroșare	8.1.1.1	6,3-12,5	8-10	
				-cu burghiu „tun" cu avans manual	8.1.2	degroșare	8.1.2.1			
				-cu burghiu tubular cu avans manual	8.1.3	degroșare	8.1.3.1			
		Mașină specializată de burghiat alezaje adînci	8.2	- cu burghiu „tun"	8.2.1	degroșare	8.2.1.1			
			8.3	- cu burghiu tubular	8.3.1	degroșare	8.3.1.1			
			8.4	- cu burghiu special	8.4.1	degroșare	8.4.1.1			
		Mașină de burghiat	8.5	- cu burghiu elicoidal	8.5.1	degroșare	8.5.1.1		8-10	
		Mașină de burghiat cu cap multiax	8.6	- cu burghie elicoidale	8.6.1	degroșare	8.6.1.1		8-10	
ALEZARE	9	Strung universal	9.1	-cu alezor clasic	9.1.1	finisare	9.1.1.3	0,4-0,8	6-7	
		Mașină de burghiat și alezat orizontală	9.2	-cu bară de alezat	9.2.1	finisare	9.2.1.3	0,8-6,3	6-7	

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.5.5 (continuare)

	9	Mașina specializată de alezat	9.3	-cu alezor cu trei muchii așchietoare	9.3.1	finisare	9.3.1.3	0,4-0,8	6-7	
			9.4	-cu alezor special cu două muchii late mobile	9.4.1	finisare	9.4.1.3	1,6-3,2	2-3	
Rectificare interioară	10	Strung universal	10.1	-cu dispozitiv de rectificat interior	10.1.1	degroșare semifinisare	10.1.1.1 10.1.1.2	0,2-0,4 0,1-0,2		
		Mașină de rectificat interior	10.2	-cu broșă de interior cu rulmenți cu n<15000 rot/min	10.2.1	finisare	10.2.1.3	0,05-0,1	1-2	
		Mașină de rectificat interior	10.3	-cu broșă de interior cu n>50000 rot/min	10.2.2	finisare	10.2.2.3	0,025-0,05	1-2	
Lepuire interioară	11	Strung universal		-cu dorn elastic din fontă (și cu pastă abrazivă)	11.1.1	finisare	11.1.1.3	0,012-0,025		
		Mașină specializată	11.2		11.2.1	finisare	11.2.1.3	0,012-0,025		

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.5.5 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FILETARE EXTERIOARĂ	12	Strung universal	12.1	- fără linial de corecție	12.1.1	-degroșare semifinisare finisare	12.1.1.1 12.1.1.2 12.1.1.3			
				- cu linial de corecție	12.1.2	finisare	12.1.2.3			
				- cu cap de filetat în vîrtej	12.1.3	degroșare- semifinisare	12.1.3.1			
		Mașină specializată de filetat în vîrtej	12.2	- cu cap de filetat în vîrtej	12.2.1	degroșare- semifinisare	12.2.1.1			
		Mașină specializată de filetat prin frezare	12.3	-cu freză disc profilată	12.3.1	degroșare- semifinisare	12.3.1.1			
				-cu freză cilindrică de filetat	12.3.2	degroșare- semifinisare	12.3.2.1			
		Mașină specializată de rulat filet	12.4	-cu două role cu diametrul egal	12.4.1	finisare	12.4.1.3			
				-cu două role cu diametrul diferit	12.4.2	finisare	12.4.2.3			
Rectificat filet	13	Mașină specială de rectificat filet	13.1	- cu disc îngust cu o singură spiră	13.1.1	degroșare semifinisare finisare	13.1.1.1 13.1.1.2 13.1.1.3		4-3 3 2	
				-cu disc lat (20...70 mm) cu mai multe spire cu avans transversal	13.1.2	degroșare semifinisare	13.1.2.1 13.1.2.2		4 4-3	

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.5.5 (continuare)

	13		13.1	- cu disc lat cu mai multe spire cu lățimea discului mai mică decît lungimea suprafeței cu filet, cu avans longitudinal	13.1.3	degroșare semifinisare	13.1.3.1 13.1.3.2		4 4-3	
Canelare exterioară	14	Mașina de frezat caneluri	14.1	- cu freză disc profilată	14.1.1	degroșare semifinisare	14.1.1.1 14.1.1.2			
				- cu freză melc	14.1.2	degroșare-semifinisare	14.1.2.2			
		Mașină specială de executat caneluri prin deformare plastică la rece	14.2	- cu două role profilate	14.2.1	degroșare-finisare	14.2.1.3			
Rectificat caneluri	15	Mașina de rectificat plan	15.1	- cu disc de rectificat profilat	15.1.1	finisare	15.1.1.3			
		Mașină specializată de rectificat caneluri	15.2	- cu disc de rectificat profilat și sistem de divizare automat	15.2.1	finisare	15.2.1.3			

Scanned with OKEN Scanner